

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«На правах рукопису»

«До захисту допущено»

УДК \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2018 р.

## **Магістерська дисертація**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології целюлозно-паперового виробництва»

на тему: **Процес сушіння картону зі спеціальними наповнювачами**

Виконала: студентка VI курсу групи ЛБ-61м

Телестакова Вікторія Вікторівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник: професор, канд. техн. наук, Марчевський В.М.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях  
канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Розроблення стартап-проекту

канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада вчене звання науковий ступінь, прізвище і ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада вчене звання науковий ступінь, прізвище і ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студентка \_\_\_\_\_ В.В. Телестакова

Київ – 2018

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут**  
**імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація «Інжиніринг, обладнання та технології целюлозно-паперового виробництва»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.

\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію**

студентці Телестаковій Вікторії Вікторівні

**1. Тема дисертації:** «Процес сушіння картону зі спеціальними наповнювачами».

Науковий керівник: Марчевський Віктор Миколайович професор, к.т.н.  
затверджена наказом по університету від «21» березня 2018 р. № 979-с.

**2. Термін здачі студентом дисертації:** 10 травня 2018 р.

**3. Об'єкт дослідження:** Процес сушіння картону зі спеціальними наповнювачами і використанням інфрачервоного випромінювання.

**4. Предмет дослідження:** Кінетика процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом, та визначення основних параметрів процесу, необхідних для проектування.

## **5. Перелік завдань, які потрібно розробити:**

- Провести аналіз літературних і патентних джерел, на базі яких скласти фізичну і математичну моделі процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом.
- Вирішити математичну модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, з використанням інфрачервоного випромінювання.
- Розробити лабораторну установку для формування зразків картону, наповненого цеолітом, для експериментальних досліджень кінетики сушіння.
- Експериментальні дослідження властивостей отриманих дослідних зразків картону.
- Налагодити роботу лабораторної установки для дослідження кінетики сушіння інфрачервоним випромінюванням, зразків картону, наповненого цеолітом.
- Виконати експериментальні дослідження кінетики сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом.
- Отримати експериментальні дані, необхідні для конструювання промислового зразка сушарки.
- Виконати наукове обґрунтування експериментальних даних.
- Перевірити адекватність математичної моделі, результатам експериментальних досліджень.
- Розробити алгоритм розрахунку промислової установки для здійснення процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом.

## **6. Перелік ілюстративного матеріалу:** презентація магістерської дисертації.

**7. Перелік публікацій:** основний зміст дисертаційної роботи викладено в 7-ми опублікованих роботах у тому числі: двох статтях у наукових фахових виданнях України; чотирьох публікаціях тез доповідей міжнародних конференцій та наукових семінарах; один патент на корисну модель України.

## 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.		
Розроблення стартап проекту	канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.		

## 9. Дата видачі завдання 09 вересня 2016 р.

**Завдання прийняла до виконання**

\_\_\_\_\_  
(підпис) В.В. Телестакова

**Науковий керівник дисертації**

\_\_\_\_\_  
(підпис) В.М. Марчевський

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Приміт ка
1	Аналіз літературних і патентних джерел по дослідженню процесу сушіння та створенні нового картону, наповненого цеолітом. Формулювання задач теоретичних та експериментальних досліджень.		
2	Розробка фізичної та математичної моделі процесу сушіння. Розв'язання математичної моделі теоретичним шляхом.		
3	Формулювання процесу проведення дослідів. Розроблення методики проведення експериментів.		
4	Проведення експериментальних досліджень		
5	Обробка та узагальнення результатів дослідження.		
6	Висновки й рекомендації.		
7	Підготовка матеріалів до публікації за результатами досліджень.		
8	Попередній захист		
9	Оформлення презентації до захисту.		

**Студентка**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**В.В. Телестакова**

**Науковий керівник дисертації**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**В.М. Марчевський**

## Зміст

Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів .....	13
Вступ .....	14
1 Стан проблеми та задачі дослідження .....	18
1.1. Стан розвитку виробництва пакувальних матеріалів та актуальність проблеми.....	18
1.2 Аналіз існуючих наповнювачів для картону .....	19
1.3 Аналіз існуючих конструкцій сушильних частин з використанням інфрачервоного випромінювання.....	21
1.4 Загальний підхід до моделювання процесу сушіння картону .....	30
1.4.1 Теоретичне моделювання процесу сушіння картону .....	30
1.4.2 Експериментальні залежності кінетики сушіння.....	34
1.4.3 Комплексне дослідження кінетики сушіння.....	38
1.5 Висновки мета та задачі дослідження.....	42
2 Моделювання процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання .....	44
2.1 Фізична модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання .....	44
2.2 Математична модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання.....	46
2.3 Результати числового моделювання та їх аналіз.....	50
3. Експериментальні дослідження процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з застосуванням інфрачервоного випромінювача.....	56
3.1 Експериментальне дослідження створення зразків картону, наповненого цеолітом .....	56

3.2	Опис дослідної установки для виготовлення зразків картону .....	57
3.3	Методика проведення експерименту .....	59
3.4	Результати експериментальних досліджень .....	60
3.5	Визначення похибок вимірювання .....	61
3.6	Перевірка адекватності рівняння регресії .....	62
3.7	Опис експериментальної установки дослідження кінетики сушіння картону, наповненого цеолітом .....	63
3.8	Порядок проведення експерименту .....	65
3.9	Дослідження кінетичних закономірностей процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювача .....	66
3.9.1	Дослідження залежності вологовмісту від часу сушіння картону, наповненого цеолітом, при різній густині теплового потоку .....	66
3.9.2	Дослідження залежності температури поверхні картону, наповненого цеолітом від часу сушіння, при різній густині теплового потоку .....	69
3.9.3	Дослідження залежності вологовмісту та температури при різних концентраціях цеоліту в картоні .....	71
3.9.2	Перевірка адекватності математичної моделі .....	72
3.10	Визначення похибок вимірювання .....	74
3.11	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	75
3.11.1	Виробничий шум .....	76
3.11.2	Електробезпека .....	78
3.11.2.1	Розрахунок захисного заземлення .....	79
3.11.3	Повітря робочої зони .....	83

3.11.4 Радіаційне випромінювання .....	83
3.11.5 Вибухо-пожежна безпека у надзвичайні ситуації .....	84
3.12 Висновки.....	86
4. Технологія виготовлення картону, наповненого цеолітом .....	88
4.1 Схема виробництва картону наповненого цеолітом.....	88
4.2 Розрахунок виробництва картону .....	90
4.3 Рекомендації щодо впровадження пристрою для сушіння з використанням інфрачервоного випромінювання .....	91
4.4 Висновки.....	92
5 Розробка стартап-проекту .....	93
5.1. Опис ідеї проекту .....	93
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	95
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	96
5.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером.....	100
5.5 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	103
5.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	106
5.7. Висновки.....	108
Висновки .....	109
Выводы.....	111
Conclusions .....	113
Список використаних джерел.....	115
Додаток А_Методика числового розв’язання математичної моделі.....	120
Додаток Б Розрахунок і оцінка коефіцієнтів рівняння регресії. ....	127
Додаток В Результати фізико-механічних досліджень картону, наповненого цеолітом .....	130
Додаток Г Розрахунок похибок вимірювання .....	131



Додаток Д Результати експериментальних досліджень процесу сушіння картону, наповненого цеолітом із застосуванням інфрачервоного випромінювання.....	133
Д.1 Дослідження впливу густини теплового потоку на кінетику сушіння картону, наповненого цеолітом.....	133
Д.2 Дослідження впливу наповнювача на кінетику сушіння картону, наповненого цеолітом .....	150
Д.3 Теоретичне дослідження впливу густини теплового потоку на кінетику сушіння картону, наповненого цеолітом.....	155
Додаток Е Розрахунок похибок вимірювання .....	180
Е.1 Визначення похибок вимірювання .....	180
Е.1.1 Визначення похибок прямих вимірювань маси картону .....	180
Е.1.2 Визначення похибок вимірювань температури картону.....	182
Е.1.3 Визначення похибок прямих вимірювань напруги, що протікає через датчик теплового потоку.....	183
Е.1.4 Визначення похибок прямих вимірювань електричної потужності інфрачервоного випромінювача.....	184
Е.1.5 Визначення похибок прямих вимірювань відстані між інфрачервоним випромінювачем та поверхнею картону .....	186
Е.1.6 Визначення похибок прямих вимірювань часу.....	187
Додаток Є Алгоритм розрахунку та блок-схему пристрою для сушіння картону наповненого цеолітом.....	189
Додаток Ж Публікації, в яких відображені основні результати досліджень дисертаційної роботи.....	192

## Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів

Умовні позначення:

$u$  – вологовміст,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;

$g$  – маса квадратного метру картонуві,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ ;

$q$  – густина теплового потоку,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

$\tau$  – час, с;

$T$  – температура картону, К;

$Q$  – тепловий потік, Вт;

$P$  – тиск, Па;

$c$  – теплоємність,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;

$r$  – питома теплота пароутворення,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ;

$\rho_0$  – густина,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ;

$\beta$  – коефіцієнт масовіддачі,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2\cdot\text{с}\cdot\text{Па}}$

$a_f$  – коефіцієнт поглинання променів волокном,  $\frac{1}{\text{м}^2}$ ;

$a_w$  – коефіцієнт поглинання променів водою,  $\frac{1}{\text{м}^2}$ ;

$k$  – коефіцієнт сушіння;

$z$  – товщина картонного полотна

Скорочення:

ІЧ – інфрачервоний;

ІЧВ – інфрачервоне випромінювання;

ЦПВ – целюлозно-паперове виробництво;

ПРМ – папероробна машина;

КРМ – картоноробна машина;

КПК – картонно-паперовий комбінат;

ГОСТ – “государственный стандарт”.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Картонне пакування є найбільш розповсюдженим у світі. Його популярність пояснюється більш екологічним виробництвом та безпечним споживанням, переробкою і утилізацією.

Однією з проблем сучасної харчової промисловості є зберігання якості харчових продуктів зі збільшенням терміну їх реалізації. Вирішення цієї проблеми здійснюється різними способами, наприклад, вакуумне пакування, зберігання в середовищі азоту, а також в спеціальному пакуванні, матеріал якого захищає продукти від псування та продовжує їх термін зберігання без втрати якості.

Для підвищення механічних властивостей (міцності) в масу добавляють речовини, які взаємодіють з волокном і створюють нові додаткові зв'язки. Найбільш популярним є каолін та клеї з крохмалопродуктів, але нажаль, вони є живильним середовищем для мікобактерій та грибків, що активно розмножуються при збільшенні вологості. Тому важливо обирати такі наповнювачі, які зменшують гігроскопічність паперу та картону.

Японці вперше використали цеоліти як наповнювачі для пакувального паперу [1]. Вироблене пакування підтримує постійну вологість та уповільнює розвиток мікрофлори, виділяючи азот.

У виробництві картону з використанням в якості наповнювача цеоліту, основним і найбільш енергоємним є процес сушіння.

Нажаль кінетичні закономірності процесів, що відбуваються за виготовлення картону, наповненого цеолітом, в літературі не виявлено, тому дана робота є актуальною.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Магістерську роботу виконано згідно з тематичним планом кафедри МАХНВ НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» та відповідно до напрямку підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології целюлозно-паперового виробництва», а також технічного завдання фірми «Цеоліт біо».

### **Мета дослідження.**

Визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом, а також основних параметрів процесу, необхідних для проектування відповідного обладнання.

### **Задачі дослідження.**

- Провести аналіз літературних і патентних джерел, на базі яких скласти фізичну і математичну моделі процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом.
- Вирішити математичну модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, з використанням інфрачервоного випромінювання.
- Розробити лабораторну установку для формування зразків картону, наповненого цеолітом, для експериментальних досліджень кінетики сушіння.
- Виконати експериментальні дослідження властивостей отриманих дослідних зразків картону.
- Налагодити роботу лабораторної установки для дослідження кінетики сушіння інфрачервоним випромінюванням, зразків картону, наповненого цеолітом.
- Виконати експериментальні дослідження кінетики сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом.

- Отримати експериментальні дані, необхідні для конструювання промислового зразка сушарки.
- Виконати наукове обґрунтування експериментальних даних.
- Перевірити адекватність математичної моделі, результатам експериментальних досліджень.
- Розробити алгоритм розрахунку промислової установки для здійснення процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом.

#### **Об’єкт дослідження.**

Процес сушіння картону зі спеціальними наповнювачами і використанням інфрачервоного випромінювання.

#### **Предмет дослідження.**

Кінетика процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом, та визначення основних параметрів процесу, необхідних для проектування.

**Методи дослідження:** аналітичні, експериментальні (лабораторні на реальних матеріалах), числове теплофізичне моделювання, комп’ютерне моделювання з використанням методу кінцевих різниць, статистичні методи визначення вірогідної достовірності (критерій Фішера).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Обґрунтовано процес сушіння картону, наповненого цеолітом. Вперше: досліджено вплив компонентів картону, наповненого цеолітом на сорбційну ємність картону; запропоновано фізичну модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом; отримані кінетичні залежності процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом; показано вплив густини променевого теплового потоку на швидкість і час сушіння; отримані кінетичні закономірності та основні параметри процесу сушіння використанні для створення алгоритму розрахунку променевої сушарки.

**Практичне значення одержаних результатів.** Технологія виготовлення картону захищена патентом України на корисну модель № 124545. Вперше розроблено стартап-проект впровадження дисертаційної роботи у виробництво. Запропоновано виробництво нового картону. Розроблено алгоритм розрахунку променевої сушарки.

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці установок для виготовлення картону, наповненого цеолітом, та в процесі дослідження процесу сушіння. Розроблено методику виготовлення картону, наповненого цеолітом. Проведено експериментальні дослідження сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом. Приймала участь в створенні фізичної та математичної моделі.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались на XI та XIV міжнародних науково-практичних конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (Київ, Україна 2016, 2018).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 2 статті у наукових фахових виданнях України, що індексується в наукометричних базах даних («Молодий вчений» випуск №2(54) та «Інтернаука» випуск №8.); 1 патент України на корисну модель № 124545, Бюл.№7 від 10.04.2018, 4 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає \_\_\_\_ сторінок, у тому числі \_\_\_\_ додатків на \_\_\_\_ сторінках. Обсяг основної частини дисертації становить \_\_\_\_ сторінок. Основна частина містить \_\_\_\_ рисунок і \_\_\_\_ таблиць. Список використаних літературних джерел складається із 39 найменувань на 4 сторінках.

## **1 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **1.1. Стан розвитку виробництва пакувальних матеріалів та актуальність проблеми**

У сучасній літературі приділяється значна увага виготовленню пакувальних матеріалів для харчових продуктів з метою подовження термінів їх зберігання. Ця тема є об'єктом дослідження багатьох зарубіжних та вітчизняних учених. Використання цеолітів при виготовленні пакувальних матеріалів, дозволяє подовжити термін зберігання харчових продуктів, що є дуже важливим у харчовій та паперовій промисловості [1].

Для захисту навколишнього середовища від небезпечного для екосистеми пластикового пакування науковцями світу триває пошук альтернативних замінників. В Японії компанія «Nitto Denko Corp» вперше розробила мультипористу поліетиленову плівку з цеолітом для упаковки харчових продуктів [2].

На основі їх дослідів в Японії розроблено спосіб виробництва картону для пакування з використанням до 20% природнього цеоліту. Розробники компанії «Rengo Packaging Systems Co., Ltd» (Tokyo, Japan) пропонують для зберігання зелених листових овочів - «Зелений пакет-саше» з цеолітом. Цеоліт поглинає продукти дихання зелені та подовжує термін її зберігання вдвічі [2].

Також цеоліти можна використовувати замість талька та каоліну для виготовлення паперу та паперу для друку [3]. В результаті добавлення цеолітів до глинистого наповнювача паперу, отримано повітро-проникний папір, здатний сорбувати запахи. Для цього рекомендовано використовувати прокалений природній цеоліт [4].

Слід зазначити, що на території України загальні запаси цеолітвмісних туфів для відкритої розробки – 1 млрд. т. [5]. Але нажаль при

виготовленні пакувальних матеріалів в Україні цеоліти не використовуються, це дає підставу для досліджень в цьому напрямку.

## **1.2 Аналіз існуючих наповнювачів для картону**

Основною сировиною для виробництва картону є сульфітна та сульфатна хвойна або листяна целюлоза. У процесі виробництва більшості видів картону або паперу до сировини додають значну кількість мінеральних речовин, які називають наповнювачами.

З природних наповнювачі використовують: каолін, тальк, крейду, гіпс, бентоніт, а зі штучних: двооксид титану, сульфід цинку, бланкфікс та інші [5].

До наповнювачів, які вводяться в паперову масу, представляють спеціальні вимоги. Вони повинні бути:

1. дрібнодисперстними і однорідними;
2. водонерозчинними, хімічно інертними, а також не змінюватися в повітрі;
3. частинки наповнювача мають бути не дуже твердими;
4. мати невисоку густину для того, щоб не відбувалась різносторонність матеріалу та утримуватись на волокнах;
5. міцно зв'язуватись з паперовим полотном, а також бути відносно недорогим, доступним для використання.

Наповнювачі суттєво впливають на такі властивості паперу: товщину, об'ємну масу, повітропроникність, механічну міцність, ступінь проклейки полотна, гладкість, білизну.

Порівняно новими наповнювачами вважають: охру, умбру, силевіт.

Охра – природний кристалічний гідрат окису заліза з вмістом глини. Охра стійка до дії слабких кислот та лугу, а також надає паперу та картону можливість не змінювати колір (не вицвітати).



Үмбра – природний пігмент, вміщує 16% марганця. Недоліком при використанні є потемніння паперу або картону.

Силевіт – рівномірно розподіляється в паперовій масі, позитивно впливає на фізико-механічні властивості паперу.

Цеоліти – природні мінерали, відкриті понад двісті років тому, але вони тільки порівняно недавно почали привертати увагу вчених і практичних працівників виробничих підприємств паперової та харчової галузі багатьох країн світу. Цеоліт може використовуватись при виробництві пакувального картону. Являється добрим адсорбентом (такий папір немає ніякого запаху).

Основні фізичні та фізико-хімічні властивості мінеральних наповнювачів, які підвищують якість паперової маси та її механічні властивості наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні фізичні та фізико-хімічні властивості мінеральних наповнювачів [5].

Властивості	Найменування наповнювача			
	Охра	Үмбра	Силевіт	Цеоліт
Хімічний склад %	SiO <sub>2</sub> 5-47	SiO <sub>2</sub> 20-34	SiO <sub>2</sub> 66	SiO <sub>2</sub> 69-74
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2 - 18	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2-7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 18	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 13- 15
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 12 - 75	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 25-40	MgO 12	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,6-1,8
	CaO 0-2,9	CaO 4,0	H <sub>2</sub> O 4,0	CaO 1,0-2,7
	MnO 0-4	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6-16		MgO 8 – 12
				TiO <sub>2</sub> 1-1,4
				H <sub>2</sub> O 4,0

Властивості	Найменування наповнювача			
	Охра	ґмбра	Силевіт	Цеоліт
Колір	світло-жовтий, золотисто - жовтий	коричневий	сірий	світло-сіро-зелений
Густина, г/мм <sup>3</sup>	0,0026-0,0032	0,0027-0,0034	0,0025-0,0034	0,0017-0,0021
Розмір частинок, мкм	0,5-5,0	1,0-5,0	1,5-4,0	4,0-20
Коефіцієнт заломлення світла	1,57	1,61	1,49	1,50

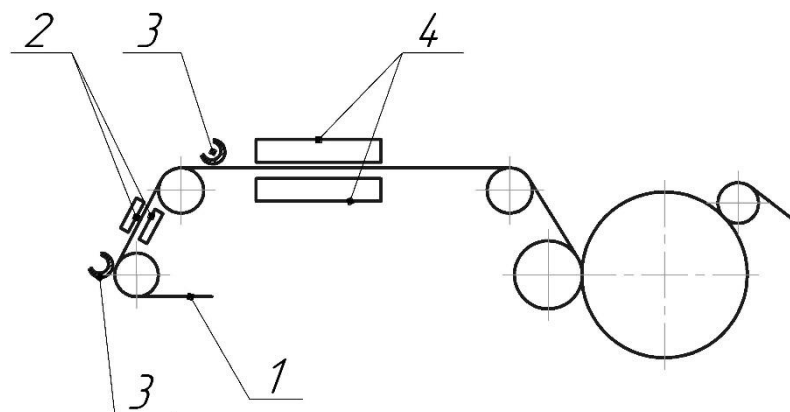
В таблиці наведені основні властивості мінеральних наповнювачів. В виробництво картону для пакування відіграє важливу роль хімічний склад, в якому головними компонентами є оксиди  $\text{SiO}_2$  та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що дозволяють підвищувати механічні властивості паперу та картону.

Цеоліти є екологічно чистою, доступною і дешевою сировиною, що може бути використана при виробництві пакувальних матеріалів та не забруднювати навколишнє природне середовище. Завдяки своїм вираженим сорбційним, іонообмінним властивостям та здатністю впливати на розвиток мікрофлори вони мають перспективи використання в паперобробній промисловості.

### **1.3 Аналіз існуючих конструкцій сушильних частин з використанням інфрачервоного випромінювання**

Розглянемо сучасні конструкції для сушіння паперу та картону з використанням інфрачервоного випромінювання, їх переваги та недоліки.

На рисунку 1.1 зображено схему виробництва картону з використанням інфрачервоного випромінювання.



1 – картонне полотно; 2 - інфрачервоний випромінювачі; 3 – сенсорна головка; 4 – досушуюча частина інфрачервоних випромінювачів

Рисунок 1.1 – Схема виробництва картону з використанням інфрачервоного випромінювання

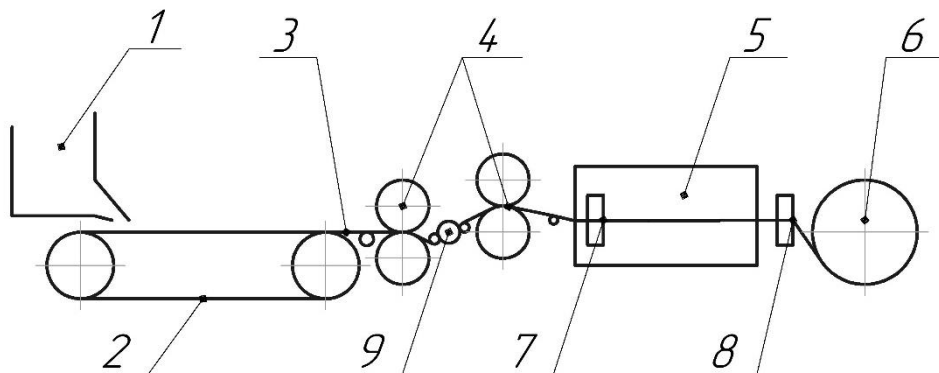
У патенті [6] зображена сушильна частина з використанням інфрачервоного випромінювання (рисунок 1.1), яка складається з верхнього і нижнього 2 блоків, що утворюють порожнину, крізь яку проходить картонне полотно 1. Система інфрачервоного випромінювання забезпечує видалення вологи поперек ширини паперового полотна завдяки сенсорній голівці 3, що рухається. Сенсорна голівка 3 встановлена над картонним полотном 1, сигнали з сенсору надходять на комп'ютер і показують степінь сухості на різних ділянках картонного полотна, що дозволяє автоматично регулювати інтенсивність випромінювання на цих ділянках та досушувати їх, досушуючою частиною інфрачервоних випромінювачів 4.

Перевагами є відсутність пересушування паперового полотна, як наслідок, зменшення вірогідності займання паперового полотна та нагрівання ламп до заданого значення

Недоліками є високі капітальні затрати на виготовлення установки.

У патенті [7] запропоновано метод сушіння картонного полотна з використанням вдосконаленої сушильної частини. Сушильна частина (рисунок 1.2) складається з сушильних циліндрів встановлених до та після

клеїльного пресу, а далі встановлений інфрачервоний випромінювач та пристрій конвективного сушіння.



1 – напірний ящик; 2 – сіткова частина; 3 – картон; 4 – сушильна частина; 5 – пристрій конвективного сушіння; 6 – накат; 7 - ІЧ-випромінювач; 8 – додатковий ІЧ-випромінювач; 9 – клеїльний прес

Рисунок 1.2 – Метод сушіння картонного полотна з використанням вдосконаленої сушильної частини

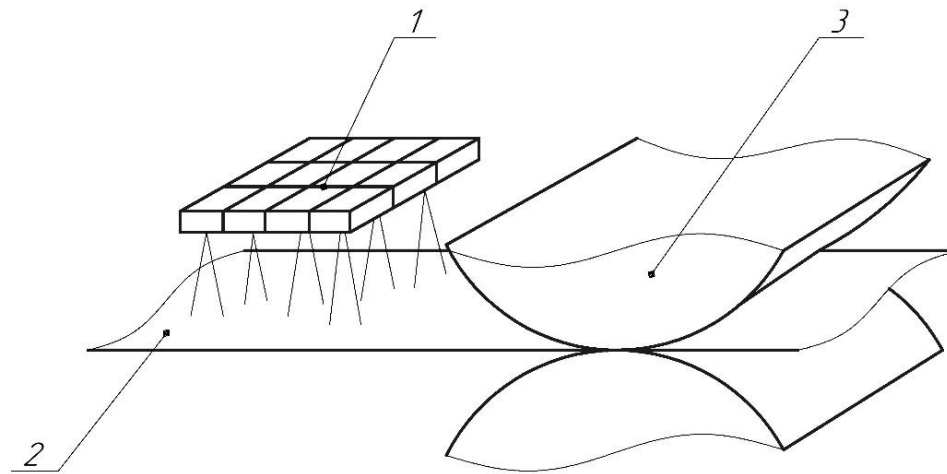
З напірного ящика 1 маса поступає на сіткову частину 2, де відбувається формування картонного полотна, далі встановлення пресова частина. Після пресової частини картонне полотно 3 надходить до сушильної частини 4, в середині якої встановлений клеїльний прес 9. Для досушування після сушильної частини встановлений інфрачервоний випромінювач 7 та обдувний ящик 5, що містить в собі пристрій для вимірювання сухості. Після пристрою для конвективного сушіння встановлюють додатковий інфрачервоний випромінювач 8 та накат 6.

Перевагою є економія площі за рахунок сушіння двома методами: потоком нагрітого повітря та ІЧ випромінювачем.

Недоліком є складність огляду та ремонту даної конструкції.

У патенті [8] запропоновано пристрій та спосіб сушіння паперу за допомогою використання інфрачервоного випромінювача (рисунок 1.3).

Паперове полотно 2 почергово підсушується за допомогою інфрачервоних випромінювачів 1 (встановлених між сушильними циліндрами 3).



1 – інфрачервоні випромінювачі; 2 – паперове полотно; 3 – сушильні циліндри

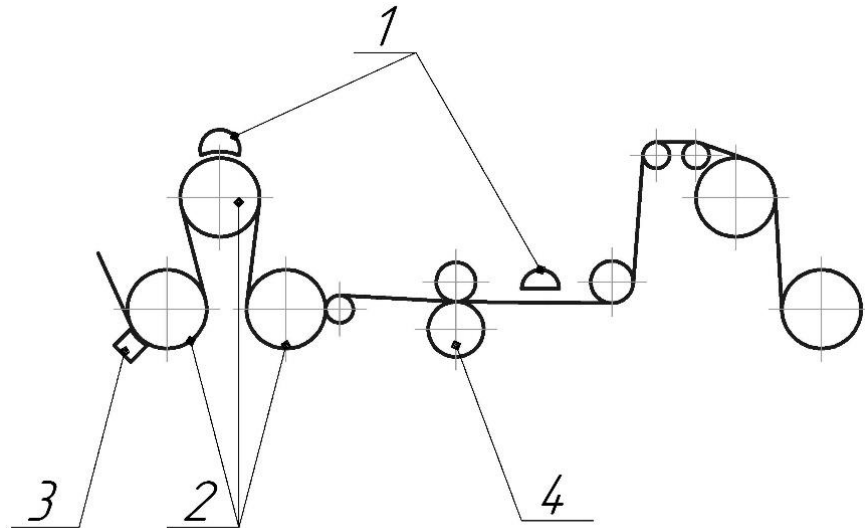
Рисунок 1.3 – Пристрій та спосіб сушіння паперу

Перевагою такого методу є висока якість продукції за рахунок безконтактного методу сушіння.

Недоліком є поєднання двох видів сушіння контактного та безконтактного.

У патенті [9] запропоновано вдосконалення сенсорної системи для визначення сухості паперу, а також варіант встановлення інфрачервоних випромінювачів (рисунок 1.4).

В середині сушильної частини встановлено клеїльний прес, після якого інфрачервоні випромінювачі, що дозволяє уникнути прилипанню проклеєного паперу до сушильного циліндра. Також на кожній групі сушильних циліндрів встановлена сенсорна система з інфрачервоними випромінювачами, що дозволяє контролювати сухість паперового полотна та додатково підсушувати.



1 – інфрачервоний випромінювач; 2 – сушильні циліндри;  
3 – сенсорна система контролю з додатковими інфрачервоними  
випромінювачами; 4 – клеїльний прес

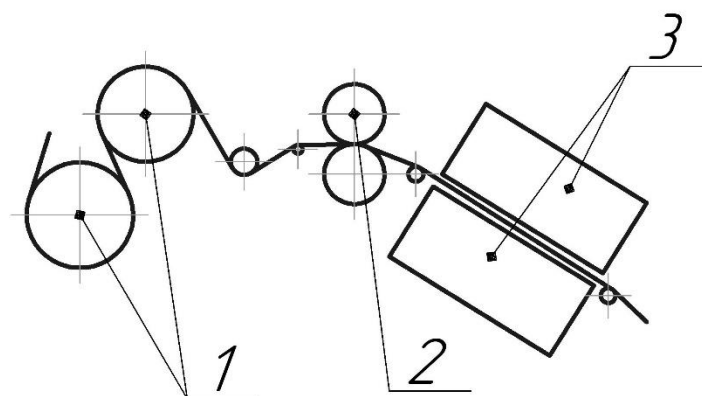
Рисунок 1.4 – Метод сушіння паперового полотна з сенсорною системою контролю з додатковими інфрачервоними випромінювачами

Перевагою даної конструкції є збільшення інтенсивності процесу сушіння в наслідок використання сушильних циліндрів та інфрачервоного випромінювача.

Недоліком є встановлення додаткових приводів для сенсорної системи. Також до недоліків можна віднести складність доступу до інфрачервоних випромінювачів та дороговизна даної конструкції.

У патенті [10] запропонована конструкція сушильної частини, яка складається із сушильних циліндрів 1, клеїльного пресу 2 та інфрачервоних випромінювачів 3 (рисунок 1.5).

Перевагами конструкції є безконтактне сушіння, за рахунок використання інфрачервоних випромінювачів.

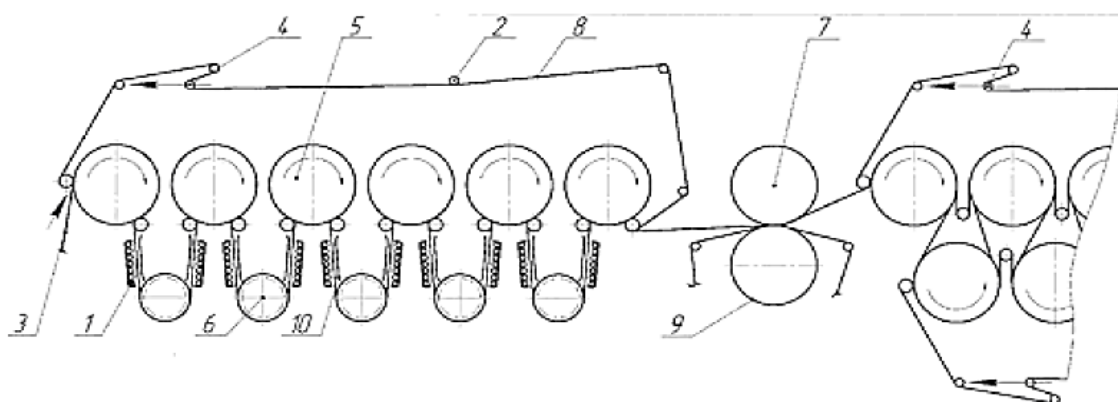


1 – сушильні циліндри; 2 – клеїльний прес; 3 – інфрачервоний випромінювач

Рисунок 1.5 – Метод сушіння картонного полотна з використанням інфрачервоного випромінювання

Недоліком цієї конструкції є великі розміри інфрачервоних випромінювачів, що призводить до короблення картонного полотна.

У патенті [11] представлена сушильна частина папероробної машини, що складається з сушильних циліндрів встановлених в один або два ряди (рисунок 1.6).



1 – інфрачервоний випромінювач; 2, 4 - сукноведучий та сукнонатяжний вали; 3 – паперове/картонне полотно; 5 – сушильні циліндри; 6 – обдувні вали; 7,9 - пресові вали; 8 – сукно/сітка

Рисунок 1.6 – Сушильна частина папероробної машини

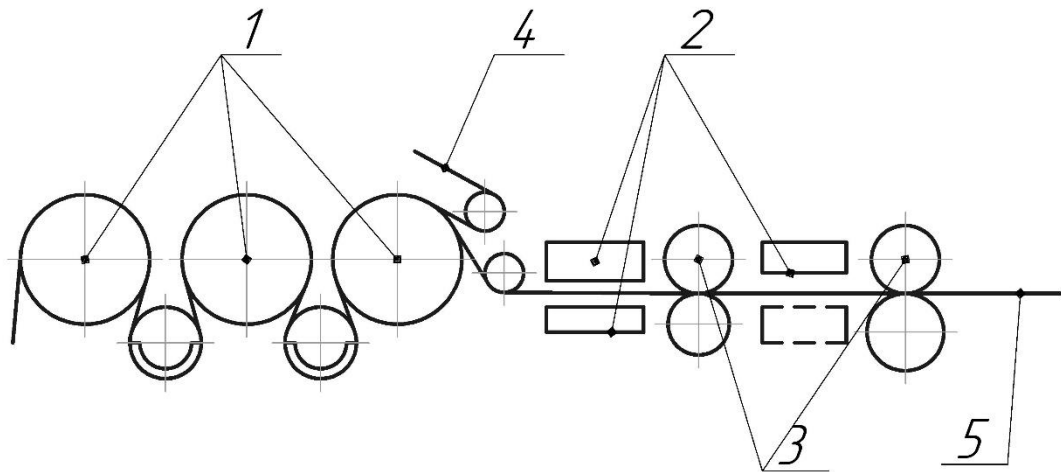
Сушильну частину (рисунок 1.6), що містить першу сушильну групу з однарусно розміщених сушильних циліндрів 5, між кожним з яких розміщено вакуумні чи обдувні вали 6, сукно/сітку 8, що по чергово огинає з найбільшим кутом обхвату сушильні циліндри та вакуумні або обдувні вали. Вали 2, 4 слугують для натягу та правки сукно/сітки 8. На вільному пробігу між вакуумними/обдувними валами та сушильним циліндром встановлені інфрачервоні випромінювачі 1, направлені випромінюючою поверхнею до полотна, що рухається. Випромінювачі додатково прогрівають вологу всередині паперового/картонного полотна 3. Пар подається в сушильні циліндри, нагріваючи їх, а в вакуумних валах створюється розрідження. У разі використання обдувних валів у них подається гаряче повітря. Після останнього сушильного циліндра першої сушильної групи встановлюється прес, що складається з пресових валів 7 та 9. Після пресу паперове/картонне полотно потрапляє в другу сушильну групу з дворядно розміщеними сушильними циліндрами.

Перевагою є встановлення інфрачервоних випромінювачів, які сприяють зменшенню часу прогріву полотна, що також зменшує загальну кількість сушильних циліндрів. А наявність рефлекторів зменшить теплові втрати.

Недоліком є висока висота даної конструкції та складність доступу до інфрачервоних випромінювачів.

У патенті [12] представлено сушильну частину з розташуванням сушильних циліндрів у два ряди, після яких встановлена досушуюча частина з безконтактним сушінням картонного полотна (рисунок 1.7).





- 1 – сушильні циліндри; 2 – інфрачервоні випромінювачі;  
3 – підтримуючі вали; 4 – сітка; 5 – картонне полотно

Рисунок 1.7 – Конструкція з досушуючою сушильною частиною

Картонне полотно 5 проходить між інфрачервоними випромінювачами 2, без застосування сітки 4, а далі пропускається між підтримуючими валами 3.

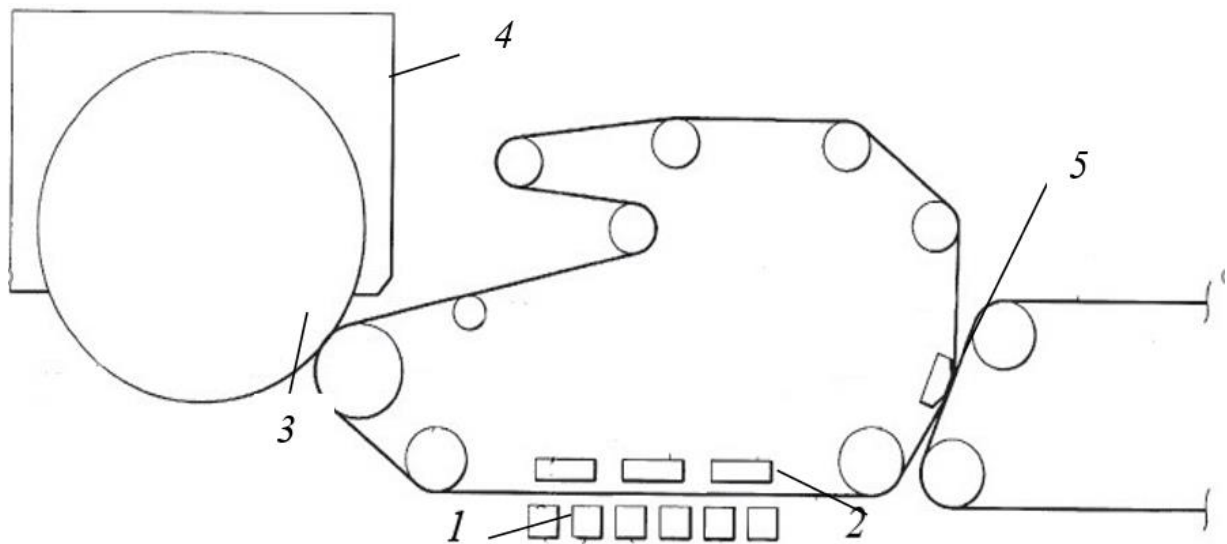
Перевагою даного методу сушіння є висока якість продукції в наслідок двостороннього безконтактного способу сушіння та простота конструкції.

Недоліками цієї конструкції є вірогідність загоряння полотна в разі його обриву та контакті з розжареною поверхнею інфрачервоних випромінювачів.

У патенті [13], сушильна частина папероробної машини (рисунок 1.8), складається з пересмоктуючого пристрою 5, сітко- та папероведучих валів, лощильного циліндру 3 та ковпака конвективного сушіння 4 над ним, пресового валу, відсмоктуючих ящиків та інфрачервоних випромінювачів. Паперове полотно пересмоктуючим пристроєм передається на сушильну групу. По сітці знизу воно надходить до захвату лощильного циліндру та пресового валу. Для збільшення ефективності сушіння на проміжку від пересмоктуючого пристрою до лощильного циліндру розміщені один

навпроти одного інфрачервоні випромінювачі (знизу) та відсмоктуючі ящики (зверху). Через паперове полотно, що проходить між поверхнями інфрачервоних та відсмоктуючих пристроїв, останніми втягується нагріте повітря.

До переваг даної сушильної частини можна віднести збільшення інтенсивності сушіння за рахунок прогріву полотна інфрачервоним випромінювання, відсмоктування з нього вологи та включення в процес сушіння фільтраційної складової (за рахунок проходження гарячого повітря скрізь паперове полотно).



- 1 – відсмоктуючі ящики; 2 – інфрачервоні випромінювачі;  
 3 - лошільний циліндр; 4 – ковпак конвективного сушіння;  
 5 - пересмоктуючий пристрій

Рисунок 1.8 — Сушильна частина папероробної машини

Недоліками цієї конструкції є вірогідність загоряння полотна в разі його обриву і контакті з розжареною поверхнею інфрачервоних випромінювачів та затрати енергії на вакуум.

## 1.4 Загальний підхід до моделювання процесу сушіння картону

### 1.4.1 Теоретичне моделювання процесу сушіння картону

Загальне рівняння теплового балансу картону, що описує процес сушіння, записується як:

$$Q_{\text{ІЧ}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{кар}} + Q_{\text{вип}} + Q_{\text{втр}} \quad (1.1)$$

де  $Q_{\text{ІЧ}}$  – кількість теплоти, що підводиться до картону, Дж;  $Q_{\text{кар}}$  – кількість теплоти, що поглинається картоном, Дж;  $Q_{\text{вип}}$  – кількість теплоти, що витрачається на випаровування вологи, Дж;  $Q_{\text{втр}}$  – втрати теплоти поверхнею картону, Дж.

Враховуючи, що:

$$Q_{\text{кар}} = Q_{\text{цл}} + Q_{\text{цеол}} + Q_{\text{клей}} + Q_{\text{ПАР}} \quad (1.2)$$

де  $Q_{\text{цл}}$  – кількість теплоти, що поглинається целюлозою, Дж;  $Q_{\text{цеол}}$  – кількість теплоти, що поглинається цеолітом, Дж;  $Q_{\text{клей}}$  – кількість теплоти, що поглинається клеєм, Дж;  $Q_{\text{ПАР}}$  – кількість теплоти, що поглинається напоявачами, Дж.

Кінетика процесу сушіння описується диференціальними рівняннями зміни вологовмісту та температури в часі. Ликов А.В. запропонував систему диференціальних рівнянь, що описує дифузійно-фільтраційний волого- і теплоперенесення у вологих матеріалах в будь-яких умовах [14]:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = k_{11} \nabla^2 u + k_{12} \nabla^2 T + k_{13} \nabla^2 P \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = k_{21} \nabla^2 u + k_{22} \nabla^2 T + k_{23} \nabla^2 P \quad (1.4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial \tau} = k_{31} \nabla^2 u + k_{32} \nabla^2 T + k_{33} \nabla^2 P, \quad (1.5)$$

де  $\frac{\partial u}{\partial \tau}$  – зміна вологовмісту за одиницю час, кг/(кг·с);  $\frac{\partial T}{\partial \tau}$  – зміна температури за одиницю часу, К/с;  $\frac{\partial P}{\partial \tau}$  – зміна тиску за одиницю час, Па/с;  $k_{ij}$  ( $ij = 1, 2, 3$ ) – коефіцієнти пропорційності.

Ця система справедлива для будь-якого виду волого- і теплопереносу, при умові сталості коефіцієнтів волого- і теплопереносу.

Оскільки картон є капілярно-пористе тіло, коефіцієнти пропорційності переносу вологи у вигляді пари та рідини визначаються як[14]:

$$k_{11} = a_m, \quad k_{12} = a_m^T = a_m \delta_T, \quad k_{13} = \frac{k_p}{\rho_0} \quad (1.6)$$

$$k_{21} = \frac{r\varepsilon}{c} a_m, \quad k_{22} = a + \frac{r\varepsilon}{c} a_m \delta, \quad k_{23} = \varepsilon r \frac{a_m}{c} \delta_p \quad (1.7)$$

$$k_{31} = -\frac{\varepsilon a_m}{c_p}, \quad k_{32} = -\frac{\varepsilon a_m}{c_p} \delta, \quad k_{33} = a_p - \frac{\varepsilon a_m}{c_p} \delta_p, \quad (1.8)$$

де  $a_m$  – коефіцієнт дифузії вологи, м<sup>2</sup>/с;  $a_m^T$  – коефіцієнт термодифузії вологи, м<sup>2</sup>/К·с;  $\delta_T$  – термоградієнтний коефіцієнт переносу вологи, К<sup>-1</sup>;  $k_p$  – коефіцієнт фільтраційного переносу вологи м<sup>2</sup>/(К·с);  $\rho_0$  – густина скелета сухого матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_p$  – відносний коефіцієнт фільтраційного потоку вологи;  $a_p$  – коефіцієнт конвективної фільтраційної дифузії, м<sup>2</sup>/с;  $c_p$  – теплоємність вологого повітря в пористому тілі,  $\frac{Дж}{кг \cdot К}$ ;  $\varepsilon$  – коефіцієнт фазового перетворення рідини в пар;  $r$  – теплота пароутворення,  $\frac{Дж}{кг}$ .

За умови відсутності градієнту загального тиску ( $\nabla P = 0$ ) або коли він незначний процес сушіння може бути описаний наступною системою рівнянь:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_m \frac{\partial u}{\partial x} + a_m \delta_T \frac{\partial t}{\partial x} \right), \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_m \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau} \quad (1.10)$$

Оскільки:

$$a_m = \frac{\lambda}{c\rho_0}. \quad (1.11)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

Враховуючи внутрішнє джерело енергії (теплоти, що виділяється внаслідок проходження через матеріал ІЧ випромінювання) [14]:

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \epsilon r \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + Q_v, \quad (1.12)$$

де  $Q_v$  – об'ємний тепловий потік від поглиненого випромінювання,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$ .

Оскільки:

$$Q_v = (q_{IR \text{ еф}} - q_{IR})\delta, \quad (1.13)$$

$q_{IR \text{ еф}}$  – тепловий потік, від ІЧ випромінювача до матеріалу, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $q_{IR}$ , – тепловий потік, на дальній стороні від ІЧ випромінювача до матеріалу, Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – товщина картону, м.

Величину променевого потоку від ІЧ випромінювача до матеріалу описують рівнянням Стефана-Больцмана [15]:

$$q_F' = \epsilon_{\text{п}} c_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (1.14)$$

де  $\epsilon_{\text{п}}$  – ефективна ступінь чорноти тіл для плоских поверхонь, розділених променевопрозорим середовищем;  $c_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$  – стала Стефана-Больцмана;  $T_1$ ,  $T_2$  – абсолютні температури поверхонь випромінювача та тіла, що нагрівається, К.

Ефективна ступінь чорноти тіл:

$$\epsilon_{\text{п}} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (1.15)$$

де  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  – ступінь чорноти ІЧ випромінювача та матеріалу, що сушиться.

Тепловий потік, що дійшов до поверхні тіла, що нагрівається, не дорівнює загальному тепловому потоку випромінювача і становить:

$$q_{IR\text{ еф}} = \bar{\varphi} q_{IR}, \quad (1.16)$$

де  $\bar{\varphi}$  – геометричний фактор, що залежить від відстані між поверхнями випромінювача та тіла [15].

Розподіл теплового потоку по товщині матеріалу, також можна визначити за законом Бугера [17],[18],[19]:

$$q_{IR\text{ еф}} = q_{IR} e^{-\int_0^x a \cdot dx} \quad (1.17)$$

де  $a$  – ефективний коефіцієнт адсорбції вологого картону, 1/м;  $dx$  – елементарний шар по товщині картону.

Коефіцієнт поглинання ІЧВ водою та волокном за законом адитивності:

$$a = a_f S + a_w w, 1/\text{м} \quad (1.18)$$

де  $a_f$  – коефіцієнт адсорбції ІЧВ волокном картону, 1/м;  $a_w$  – коефіцієнт абсорбції ІЧВ водою, 1/м.

Рівняння (1.9) і (1.12) є загальними формулами математичного опису. Граничні умови:

$$\lambda \left( \frac{\partial t}{\partial x} \right)_{\Pi} = q_{\Pi}(\tau) - r(1 - \varepsilon) j_{\Pi}(\tau) \quad (1.19)$$

$$-a_m \rho_0 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_{\Pi} = a_m \rho_0 \delta \left( \frac{\partial t}{\partial x} \right)_{\Pi} + j_{\Pi}(\tau) \quad (1.20)$$

де  $q_{\Pi}(\tau)$  – інтенсивність теплообміну чи питомий потік тепла на поверхні, Вт/м<sup>2</sup>;  $j_{\Pi}(\tau)$  – інтенсивність вологообміну чи питомий потік води з поверхні, кг/(м<sup>2</sup>·с).

Де потік води з поверхні у навколишнє середовище можна записати як [18]:

$$j_{\Pi} = \beta(p_{\Pi} - p_{\Pi\text{ нс}}) \quad (1.21)$$

де  $p_{\Pi}$  – тиск пари в пограничному шарі, Па;  $p_{\Pi\text{ нс}}$  – парціальний тиск пари в навколишньому середовищі, Па.

Знаючи відносну вологість оточуючого навколо матеріалу середовища, парціальний тиск пари можна виразити як:

$$p_{п\ нс} = \varphi p_{п} \quad (1.22)$$

де  $\varphi$  – відносна вологість повітря в оточуючому навколо матеріалу середовищі.

Рівняння (1.22) відоме як закон Дальтона і справедливе лише для періоду постійної швидкості, коли температура капілярно-пористого матеріалу залишається постійною.

Цей метод простим в обрахунку, проте потребує експериментального підтвердження ефективності.

#### 1.4.2 Експериментальні залежності кінетики сушіння

Як було сказано раніше, картон є капілярно-пористе тіло, тому процес сушіння можна поділити на три періоди сушіння. На рисунку 1.10 зображена залежність вологовмісту та температури від часу сушіння [14].

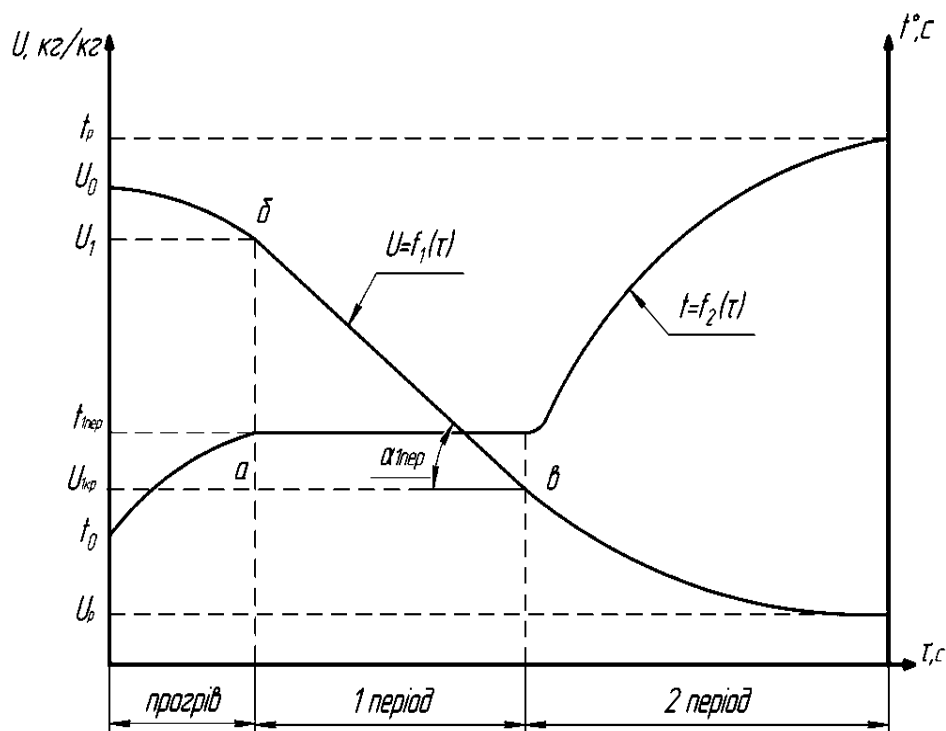
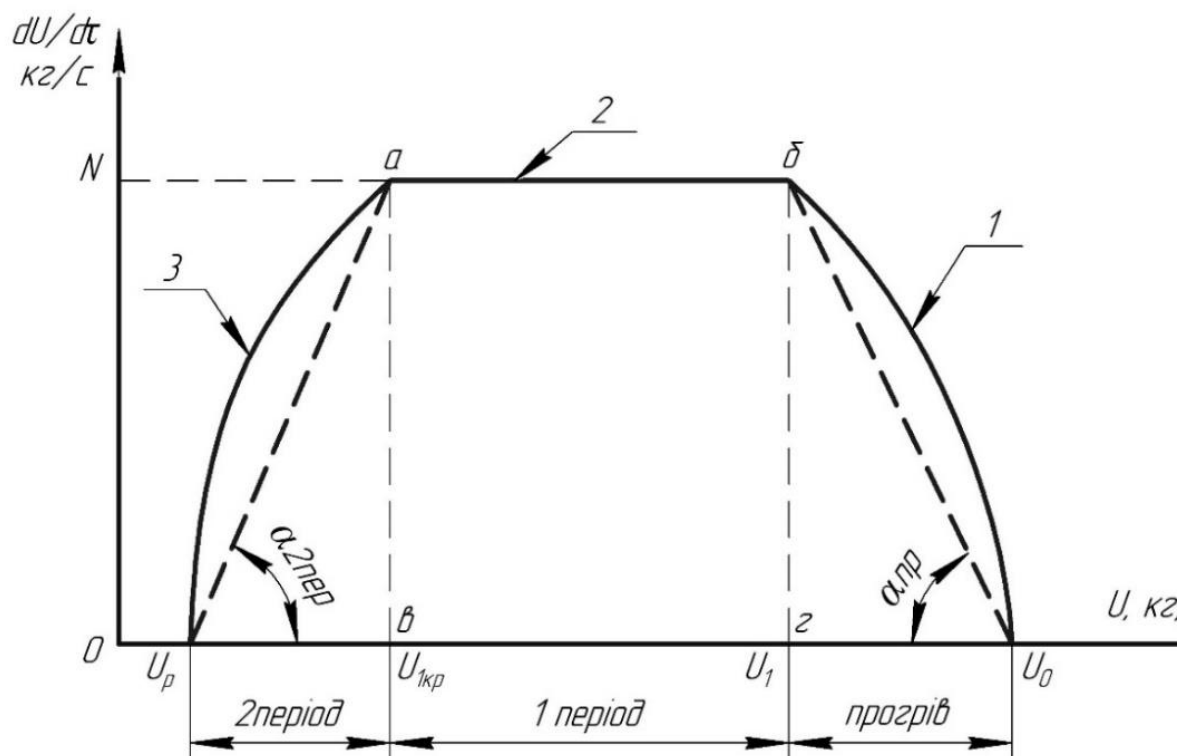


Рисунок 1.10 – Залежність вологовмісту та температури від часу сушіння

Швидкість сушіння можна визначити, використавши графічну залежність швидкості від вологовмісту за періодами сушіння (рисунок 1.11) [14].



1 — швидкість сушіння в період прогріву; 2 — швидкість сушіння в першому періоді; 3 — швидкість сушіння в другому періоді  
Рисунок 1.11 – Залежність швидкості сушіння паперу від вологовмісту

Знаючи кінетичні закономірності сушіння картону з наповнювачем за допомогою ІЧ випромінювача, можна описати процес сушіння картону.

З рисунку 1.11 рівняння прямої  $\delta U_0$  є рівнянням швидкості сушіння в період прогріву. Спрощено воно має такий вигляд [23]:

$$\frac{dU}{d\tau} = -k_{\text{пр}}u + b_{\text{пр}} \quad (1.23)$$

де  $k_{\text{пр}}$  – тангенс кута нахилу відрізка  $\delta U_0$  (згідно рисунка 1.11);  $b_{\text{пр}}$  – значення по осі ординат ( $dU/d\tau$ ), що відсікає відрізок  $\delta U_0$ .



Враховуючи, що:

$$k_{\text{пр}} = \tan \alpha_{\text{пр}} = \frac{N}{u_0 - u_1} \quad (1.24)$$

А  $b_{\text{пр}}$ :

$$b_{\text{пр}} = u_0 \cdot \tan \alpha_{\text{пр}} = u_0 k_{\text{пр}} \quad (1.25)$$

Перепишемо рівняння швидкості сушіння (1.23) в періоді нагрівання:

$$\frac{du}{d\tau} = -k_{\text{пр}}u - k_{\text{пр}}u_0 = -k_{\text{пр}}(u - u_0) \quad (1.26)$$

Про інтегрувавши за вологовмістом та часом рівняння (1.26), перепишемо у вигляді:

$$\ln \frac{u - u_0}{u_1 - u_0} = -k_{\text{пр}}\tau \quad (1.27)$$

Для першого періоду сушіння швидкість сушіння стала. З трикутника  $\Delta a\delta v$  (рисунок 1.10):

$$N = \tan \alpha_{\text{п1пер}} = \frac{u_1 - u_{1\text{кр}}}{\tau_{1\text{кр}} - \tau_1} \quad (1.28)$$

З рисунку 1.11 рівняння прямої  $u_p a$  характеризує швидкість сушіння в другому періоді сушіння. Спрощено воно має такий вигляд [23]:

$$\frac{du}{d\tau} = k_{2\text{пер}}u - b_{2\text{пер}} \quad (1.29)$$

де  $k_{2\text{пер}}$  – тангенс кута нахилу відрізка  $au_p$  (згідно рисунка 1.11);  $b_{2\text{пер}}$  – значення по осі ординат ( $dU/d\tau$ ), що відсікає відрізок  $au_p$ .

Враховуючи, що:

$$k_{2\text{пер}} = \tan \alpha_{2\text{пер}} = \frac{N}{u_{1\text{к}} - u_p} \quad (1.30)$$

А  $b_{2\text{пер}}$ :

$$b_{2\text{пер}} = u_p \cdot \tan \alpha_{2\text{пер}} = u_p k_{2\text{пер}} \quad (1.31)$$

Перепишемо рівняння швидкості сушіння в другому періоді сушіння:

$$-\frac{du}{d\tau} = k_{2\text{пер}} u - k_{2\text{пер}} u_p = k_{\text{пр}}(u - u_p) \quad (1.32)$$

Знак мінус вказує, що швидкість зменшується.

Проінтегрувавши за вологовмістом та часом, рівняння (1.30), перепишемо у вигляді:

$$-\ln \frac{u - u_p}{u_{1к} - u_p} = k_{2\text{пер}} \tau \quad (1.33)$$

Час сушіння періоду нагрівання, першого та другого періодів становить:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{\ln \frac{u - u_0}{u_1 - u_0}}{-k_{\text{пр}}} \quad (1.34)$$

$$\tau_1 = \frac{u_1 - u_{1кр}}{\tau_1 - \tau_{1кр}} \quad (1.35)$$

$$\tau_2 = \frac{-\ln \frac{u - u_p}{u_{1кр} - u_p}}{k_{2\text{пер}}} \quad (1.36)$$

Загальний час сушіння :

$$\tau_{\text{суш}} = \tau_{\text{пр}} + \tau_1 + \tau_2 = \frac{-\ln \frac{u - u_0}{u - u_p}}{k_{\text{пр}}} + \frac{u_1 - u_{1кр}}{\tau_1 - \tau_{1кр}} + \frac{-\ln \frac{u - u_p}{u - u_p}}{k_{2\text{пер}}} \quad (1.37)$$

Недоліком такої методики для визначення швидкості сушіння картону є необхідність мати графічні залежності швидкості від вологовмісту. На залежності впливає багато факторів: густина теплового потоку, маса квадратного метру тощо. Також результати розрахунку швидкості сушіння залежать від точності апроксимації експериментальних даних.

### 1.4.3 Комплексне дослідження кінетики сушіння

Ликовим А.В. запропонував диференціальне рівняння теплопереносу, що враховує інфрачервоне випромінювання як внутрішнє джерело тепла( $Q_v$ ) в тонких шарах матеріалу [14]:

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \varepsilon \tau \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + Q_v \quad (1.38)$$

де  $Q_v$  – джерело тепла від поглиненого випромінювання,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$ .

По мірі заглиблення в середину матеріалу потужність джерела  $Q_v$  швидко спадає. Для одновимірної задачі закономірність спадання описується рівнянням Ламберта-Бугера[14],[17],[18],[19]:

$$\frac{Q_v}{Q_{v0}} = \exp[-k(R - x)] \quad (1.39)$$

де  $Q_{v0}$  – потужність потоку випромінювання, що поглинається поверхнею тіла матеріалу.

В товстих шарах тіла потужність випромінювання швидко зменшується, прямує до нуля, тому її можна не вводити в диференціальне рівняння теплопереносу, а ввести в граничну умову:

$$(\lambda \nabla t)_n + \alpha(t_c - t_n) + q_n - rj_2 = 0 \quad (1.40)$$

де  $q_r = Q_v R_v$  – густина потоку променевого тепла, що поглинається тілом.

Практичне застосування рівняння Ликова А.В. здійснили іноземні науковці в роботі з дослідження кінетики сушіння картону. Американські вчені запропонували фізико-математичну модель сушіння картону з використанням ІЧ випромінювання [20],[21],[22].

Автори Asensio, Seyed-Yagoobi (1992 та 1993р.р.) та Husain (1999р.) представили теоретичну математичну модель сушильної частини папероробної машини для виробництва крейдованого картону. Ця модель розраховує розподілення температури та вологості в середині полотна та їх,

відповідні, середні значення протягом всього процесу. Основана вона на рівностях тепло- та масо передачі, котрі потім були доповнені поняттям «джерело об'ємного розподілення тепла» для врахування проникнення інфрачервоного випромінювання по товщині полотна.

Представлена математична модель дозволяє встановлювати декілька ІЧ-випромінювачів з обох сторін аркуша. Але вона не враховувала внутрішнє розсіювання випромінювання, в результаті чого теоретичні розрахунки відрізнялися від експериментальних до 10%.

Основні рівняння математичної моделі[14]:

Закон збереження маси:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\frac{\partial J_W}{\partial z} - \frac{\partial J_V}{\partial z} \quad (1.41)$$

де  $M$  – маса води на одиницю об'єму паперового листа,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $t$  – час сушіння, с;  $z$  – товщина картону, м;  $J_W, J_V$  – масовий потік рідини та пари,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$ .

Закон збереження енергії, що включає в себе енергію пов'язану з рідиною, рухом пара та зміною властивостей паперу по товщині:

$$[c_w \rho_w S \varepsilon + c_f \rho_f (1 - \varepsilon)] \frac{\partial T_{sh}}{\partial t} = -\frac{\partial q''}{\partial z} - \frac{\partial (H_w J_w + H_v J_v)}{\partial z} + \frac{\partial q_r'' l_z}{\partial z} \quad (1.42)$$

де  $c_w, c_f$  – теплоємність води та пари,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ;  $\rho_w, \rho_f$  – густина води та пари,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $S$  – насиченність паперу водою;  $\varepsilon$  – пористість;  $T_{sh}$  – температура паперового листа, °С;  $H_w, H_v$  – ентальпія води та пари,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ;  $q_r$  – густина теплового потоку від випромінювання,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

Граничні умови при  $z = \xi - \Delta z$ :

$$\begin{aligned} & [c_w \rho_w S \varepsilon + c_f \rho_f (1 - \varepsilon)] \frac{\partial T_{sh}}{\partial \tau} = \\ & = \frac{1}{\Delta z} \left[ -k_{eff} \frac{\partial T_{sh}}{\partial z} + J_w H_w + J_v H_v + J_{v,j} H_v - \right. \\ & \left. J_{v,o} H_v + q_{conv} + q_r''|_{z=\xi} - q_r''|_{z=\xi-\Delta z} \right] \end{aligned} \quad (1.43)$$

де  $k_{eff}$  – ефективний коефіцієнт теплопередачі,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  $J_{v,l}, J_{v,o}$  – масовий потік з середини та назовні,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$ ;

Те ж з урахуванням граничних умов ( $z=0$ ):

$$\begin{aligned} & [c_w \rho_w S \varepsilon + c_f \rho_f (1 - \varepsilon)] \frac{\partial T_{sh}}{\partial t} = \\ & = \frac{1}{\Delta z} \left[ -k_{eff} \frac{\partial T_{sh}}{\partial z} - J_w H_w - J_v H_v + J_{v,0} H_v + \right. \end{aligned} \quad (1.44)$$

де  $h_{bottom}$  – коефіцієнт тепловіддачі від паперу в навколишнє середовище,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  $T_{amb}$  – температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

В останньому рівнянні по праву сторону від знаку рівності представлені граничні умови для  $z = 0$ .

Густина теплового потоку випромінювання [17],[18],[19]:

$$q_r|_z = q_r|_0 - \int_0^z a dz, \quad (1.45)$$

де  $a$  – коефіцієнт поглинання,  $\frac{1}{\text{м}}$ .

Додаткове випромінювання не враховується поза випромінювача.

Коефіцієнт поглинання водою та волокном:

$$a = a_f (1 - S) + S a_w, \quad (1.46)$$

де  $a_f$  – коефіцієнт поглинання променів волокном,  $\frac{1}{\text{м}}$ ;  $a_w$  – коефіцієнт поглинання променів водою,  $\frac{1}{\text{м}}$ ;  $S$  – вологість паперу в долях одиниці.

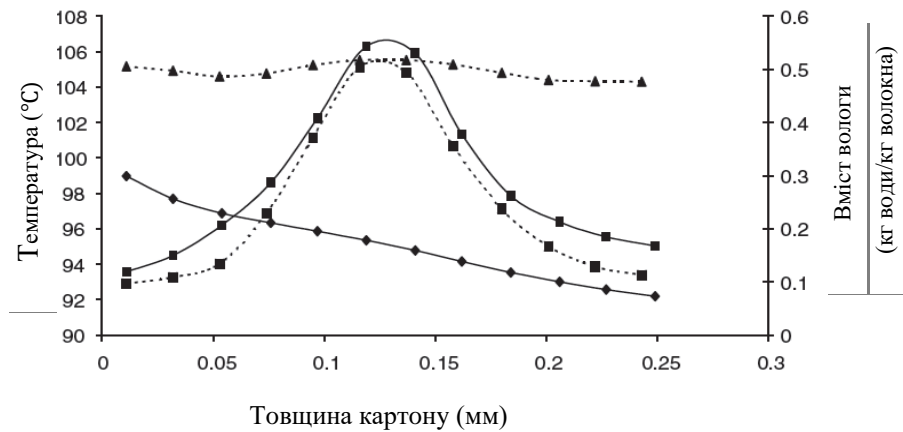
Коефіцієнт поглинання енергії волокном:

$$a_f = \frac{1}{L} \ln \left( 1 - \frac{\alpha_f}{(1 - R_f)} \right), \quad (1.47)$$

де  $R_f$  – коефіцієнт віддзеркалення волокна.

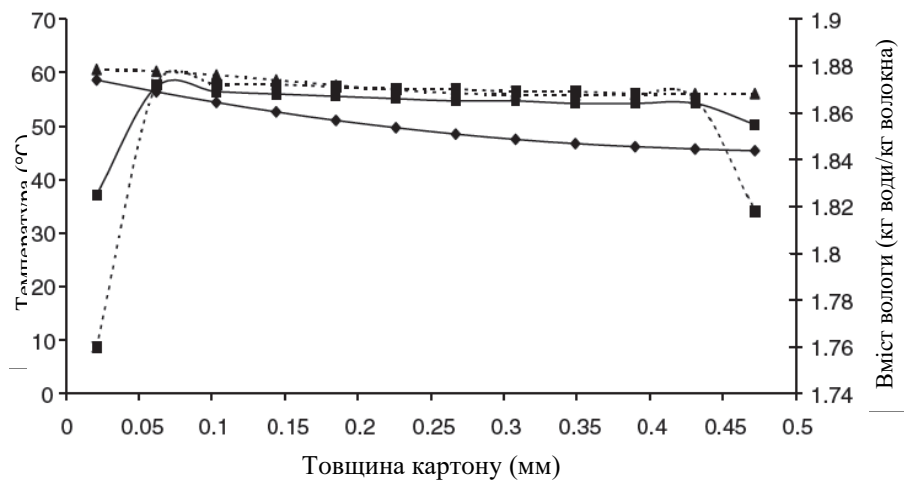
Дана теоретична модель була вирішена методом кінцевих різниць.

Результати вирішення показані на рисунку 1.12 та 1.13 [20],[21],[22].



—◆— температура до початку процесу сушіння, ---▲--- температура після процесу сушіння, —■— вміст вологи до початку процесу сушіння, ---■--- вміст вологи після процесу сушіння

Рисунок 1.12 – Кінетичні закономірності процесу сушіння картону з використанням інфрачервоного випромінювання, встановленого в середині першої сушильної групи



—◆— температура до початку процесу сушіння, ---▲--- температура після процесу сушіння, —■— вміст вологи до початку процесу сушіння, ---■--- вміст вологи після процесу сушіння

Рисунок 1.13 – Кінетичні закономірності процесу сушіння картону з використанням інфрачервоного випромінювання, встановленого в кінці сушильної частини

## 1.5 Висновки мета та задачі дослідження

Проведено критичний аналіз джерел, на основі якого можна стверджувати, що рівень розвитку машинобудування в папероробній промисловості значно вищий ніж вітчизняний, за кордоном широко застосовують ІЧ випромінювання для сушіння паперу, особливо там, де необхідне безконтактне сушіння, але робіт з дослідження кінетики сушіння картону, наповненого цеолітом, не виявлено.

Метою дослідження є визначення кінетичних закономірностей процесу сушіння інфрачервоним випромінюванням картону, наповненого цеолітом, а також основних параметрів процесу, необхідних для проектування відповідного обладнання.

Відповідно для досягнення поставленої мети ставляться подальші задачі дослідження:

1. На основі аналізу літературних джерел і патентних матеріалів запропонувати фізичну модель процесу сушіння картону з використанням інфрачервоного випромінювання.
2. На базі фізичної моделі розробити математичну модель.
3. Вирішити математичну модель процесу сушіння картону з використанням інфрачервоного випромінювання.
4. Розробити лабораторну установку для формування зразків картону, наповненого цеолітом, для експериментальних досліджень кінетики сушіння.
5. Обґрунтувати методику експериментальних досліджень процесу сушіння картону з використанням інфрачервоного випромінювання.
6. Вдосконалити конструкцію та налагодити роботу існуючої установки для дослідження процесу сушіння картону, наповненого цеолітом.
7. Розробити вимоги до охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

8. Виконати експериментальні дослідження кінетики процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання.
9. Порівняти результати, отримані теоретичним і експериментальним шляхом, з метою підтвердження адекватності математичної моделі.
10. Розробити алгоритм розрахунку промислової сушарки.
11. Розробити стартап-проект.



## 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КАРТОНУ, НАПОВНЕНОГО ЦЕОЛІТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

### 2.1 Фізична модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання

Теплова енергія від проходження ІЧ випромінювання, що спрямована на поверхню картонного полотна розподіляється наступним чином (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Схема розподілення енергії інфрачервоного випромінювання

Як видно з рисунку 2.1 більша частина енергії від ІЧ випромінювання поглинається вологим картоном, частина відбивається від його поверхні, а частина проходить наскрізь. В результаті інтенсивного нагрівання ближніх до випромінювача шарів картону в них створюється температурний градієнт. Це зумовлює додаткове переміщення тепла шляхом теплопровідності.

Математично розподілення тепла від випромінювання можна записати:

$$q_{IЧ} = q_R + q_A + q_B + q_D \quad (2.1)$$

де  $q_{\text{ІЧ}}$  – густина теплового потоку від інфрачервоного випромінювача,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

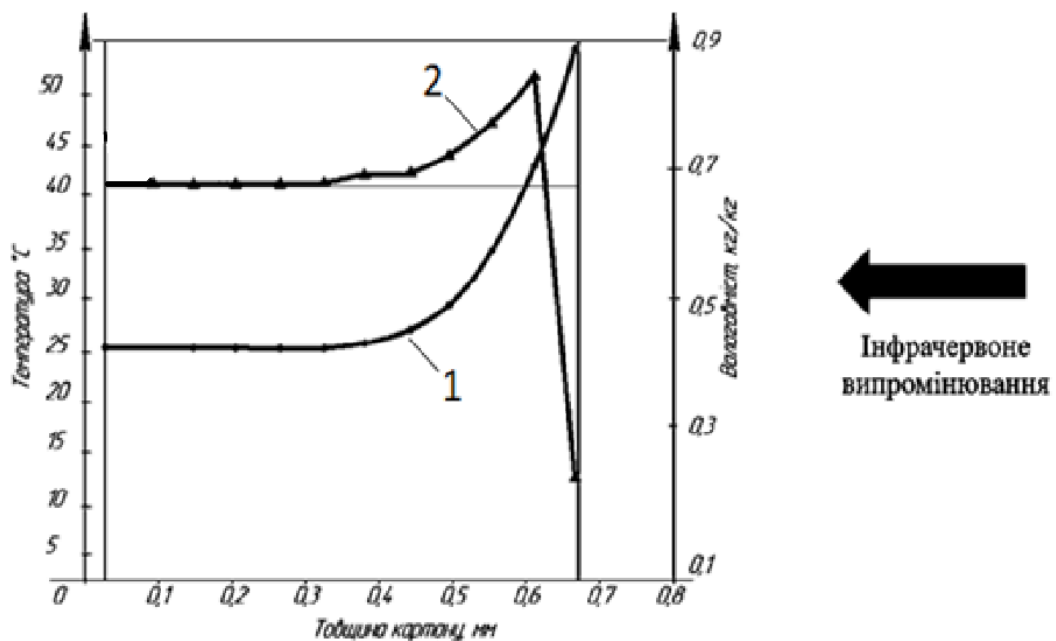
$q_R$  – густина теплового потоку, що відзеркалюється від поверхні картону,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

$q_A$  – густина теплового потоку, що поглинається целюлозою,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

$q_B$  – густина теплового потоку, що поглинувся цеолітом,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

$q_D$  – густина теплового потоку, що пройшов наскрізь,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

Для зручності аналізу процесу сушіння, картон по товщині умовно можна розділити на три зони: зону сушіння, зону конденсації та зону початкового стану (рисунок 2.2).



1- Залежність температури від часу сушіння; 2 – залежність вологовмісту від часу сушіння

Рисунок 2.2. – Зміна температури та вологовмісту по товщині картону [14]

Зі збільшенням температури поступово починає зростати інтенсивність випаровування з ближньої до джерела випромінювання поверхні картону та у вже прогрітих його верхніх шарах. Пара, що

утворюється в верхніх шарах, під дією перепаду тиску фільтрується до поверхні та видаляється назовні-це зона сушіння. Проте частина пари, що межує з ще не прогрітими шарами картону, охолоджується та конденсується (зона конденсації) (рисунок 2.2). Тому в цій зоні спостерігається незначне збільшення вологовмісту.

В більш глибоких шарах картону температура залишається незмінною, а вологовміст постійний(зона початкового стану) і інколи більший початкового на зовнішній стороні картону. Це пов'язано з тим, що за рахунок теплового напору частина вологи переміщується до протилежної від джерела випромінювання сторони картону (термодифузія). На цій стороні за рахунок накопичення вологи може спостерігатись додатковий приріст вологовмісту.

З часом картон по товщині повністю прогрівається і фронт сушіння переміщується в більш глибокі шари. При цьому зона сушіння розширюється, витісняючи зони конденсації та початкового стану. Наприкінці процесу зона сушіння досягає зворотної сторони картону, картон висушується, а значення вологовмісту стає однаковим по всій його товщині.

## **2.2 Математична модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання**

На основі аналізу фізичної моделі за основу математичної моделі обрано диференціальне рівняння теплопереносу з внутрішнім джерелом теплоти [14]:

$$c\rho_0 \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda \nabla T) + \varepsilon r \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + Q_v \quad (2.2)$$

де  $c$  – масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К);  $\rho_0$  – густина картону, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_v$  – внутрішнє об'ємне джерело теплоти, створене поглинанням

інфрачервоного випромінювання,  $\frac{Вт}{м^3}$ ;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $Вт/(м \cdot К)$ ;  $\varepsilon$  – коефіцієнт фазового перетворення рідини в пару;  $r$  – питома теплота пароутворення,  $\frac{Дж}{кг}$ ;  $T$  – абсолютна температура,  $К$ ;  $\frac{\partial u}{\partial \tau}$  – швидкість сушіння,  $кг/(кг \cdot с)$ ;  $\frac{\partial T}{\partial \tau}$  – швидкість нагрівання картону,  $К/с$ .

Прийнято, що розподілення теплового радіаційного потоку за товщиною картону описується рівнянням Ламберта-Бугера [28]:

$$q_r|_z = q_r|_{T_{z=0}} - \int_0^z K dz \quad (2.3)$$

де  $z$  – координата за товщиною картону,  $м$ .

Дивергенція вектора променевого теплового потоку в об'ємі картону:

$$\frac{\partial q_r}{\partial z} = -q_r|_{T_{z=0}} K e^{-Kz} \quad (2.4)$$

Швидкість сушіння в першому періоді [14]:

$$-\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{\beta}{g} (p_s - p_{пнс})|_{T_{z=0}} \quad (2.5)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт вологовіддачі,  $м/с$ ;  $g$  – маса квадратного метру абсолютно сухого картону,  $кг/м^2$ ;  $p_n, p_{пн}$  – тиск насиченої пари на поверхні шару картону та парціальний тиск водяної пари в прилеглому шарі оточуючого середовища (вологого повітря) відповідно,  $Па$ .

В другому періоді швидкість сушіння залежить від різниці між поточним і рівноважним вологовмістами картону ( $u, u_p$ ) [14]:

$$-\frac{du}{d\tau} = k(u - u_p) \quad (2.6)$$

де  $k$  – константа швидкості сушіння в другому періоді,  $с^{-1}$ ;  $u, u_p$  – середній вологовміст в поточний момент часу і рівноважний у шарі картону,  $кг/кг$ .

Наведені вище рівняння (2.2-2.6) дають можливість скласти математичну модель процесу радіаційного сушіння картону, наповненого цеолітом:

$$\begin{cases} \frac{du}{d\tau} = \frac{\beta}{g} [p_n - p_n] + k(u - u_p) \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = a_{\text{eff}} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_r}{c_{p \text{ eff}} \rho_{\text{eff}}} K e^{-Kz} - \frac{\rho_f r}{\rho_{\text{eff}} c_{p \text{ eff}}} \frac{du}{d\tau} \end{cases} \quad (2.7)$$

де  $c_{p \text{ eff}}(T)$  – температурна залежність масової ізобарної теплоємності вологого картону з цеолітом, Дж/(кг·К);  $\rho_{\text{eff}}(T)$  – температурна залежність ефективної густини вологого картону, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_f(T)$  – температурна залежність густини абсолютно сухого картону, кг/м<sup>3</sup>;  $\tau$  – час, с;  $z$  – декартова координата, м;  $K(T(z))$  – температурна залежність «сірого» значення ефективного коефіцієнта поглинання вологого картону, м<sup>-1</sup>;  $\frac{du}{d\tau}$  – швидкість сушіння, с<sup>-1</sup> (кг/(кг·с));  $a_{\text{eff}} = \frac{\lambda_{\text{eff}}}{c_{p \text{ eff}} \rho_{\text{eff}}}$  – ефективна температуропровідність картону, м<sup>2</sup>/с.

Радіаційний потік  $q_r$ , що надходить на поверхню картону, визначається за законом Стефана-Больцмана [23]:

$$q_r \Big|_{T_z=0} = \varepsilon_{pr} (K_{a-v}) \sigma (T_{\text{IR}}^4 - T_{z=0}^4) \quad (2.8)$$

де  $\varepsilon_{pr}(K_{a-v})$  – ступінь поглинутої енергії ІЧ випромінювання вологим повітрям;  $\sigma$  – стала Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T_{\text{IR}}, T_{z=0}$  – абсолютна температура поверхонь інфрачервоного випромінювача та картону, відповідно, К;  $\varepsilon_{pr}$  – ступінь поглинання енергії ІЧ випромінювання вологим картоном.

Система рівнянь (2.7) та рівняння (2.8) є нелінійними за теплофізичними властивостями та потоковими членами.

Початкові умови для (2.7),  $\tau = 0$ :

$$T = T(z) = \text{const}, \quad 0 \leq z \leq \delta_f, \quad (2.9)$$

$$(2.10)$$

$$u = u(z) = \text{const}, \quad 0 \leq z \leq \delta_f$$

де  $\delta_f$  – товщина вологого картону, м.

Граничні умови для (2.7),  $\tau > 0$ :

- на поверхні ІЧ випромінювача діють граничні умови першого роду

$$T_{IR} = T(W) = \text{const}, \quad (2.11)$$

де  $W$  – значення електричної потужності живлення радіаційного нагрівника, Вт. На цій границі також задається «сіре» значення ступеня чорноти робочої поверхні ІЧ випромінювача  $\varepsilon_{IR}$ ;

- на лицьовій стороні картону та на нижній задано граничні умови III роду:

$$-\lambda_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_1 (T - T_{s_1}), \quad (2.12)$$

$$-\lambda_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_2 (T - T_{s_2}) \quad (2.13)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі з боку лицьової та нижньої сторін шару картону, відповідно, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $T_{s_1}, T_{s_2}$  – температура навколишнього середовища, що оточує шар картону з боку його лицьової та нижньої сторін, відповідно, К.

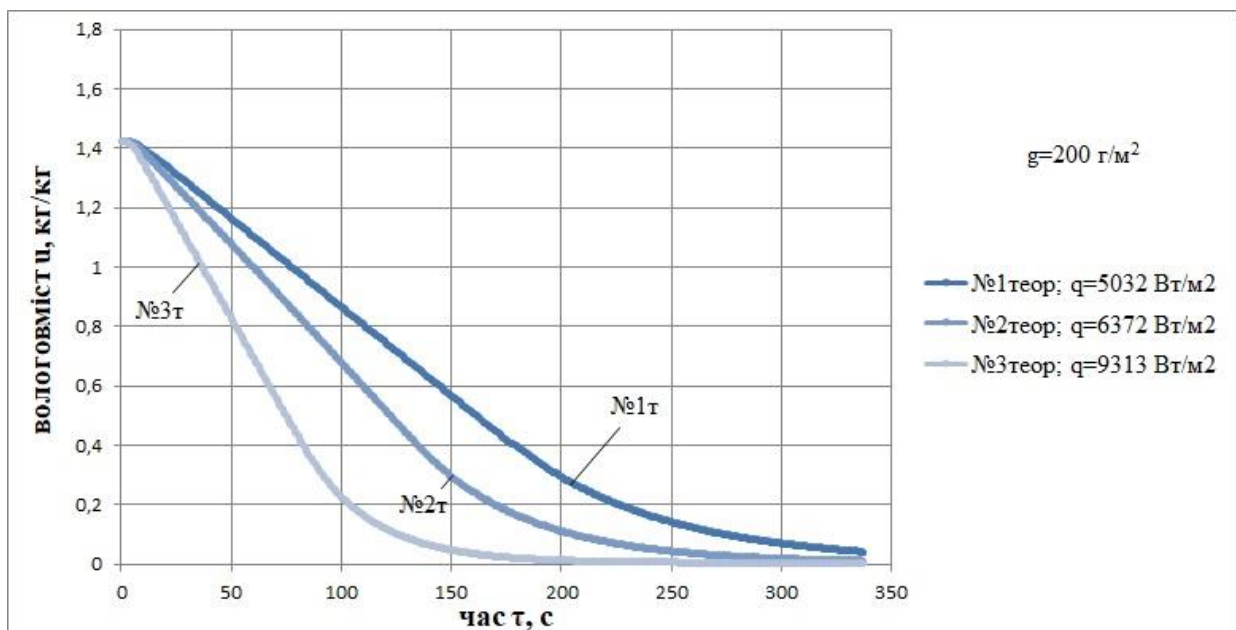
Система рівнянь (2.2)–(2.13) є повним математичним описанням нелінійної одновимірної задачі сушіння ІЧ випромінюванням вологого картону, наповненого цеолітом.

## 2.3 Результати числового моделювання та їх аналіз

Для числового розв'язання математичної моделі використано метод скінченних різниць (МСР). На основі цього методу розроблено програму для розрахунку.

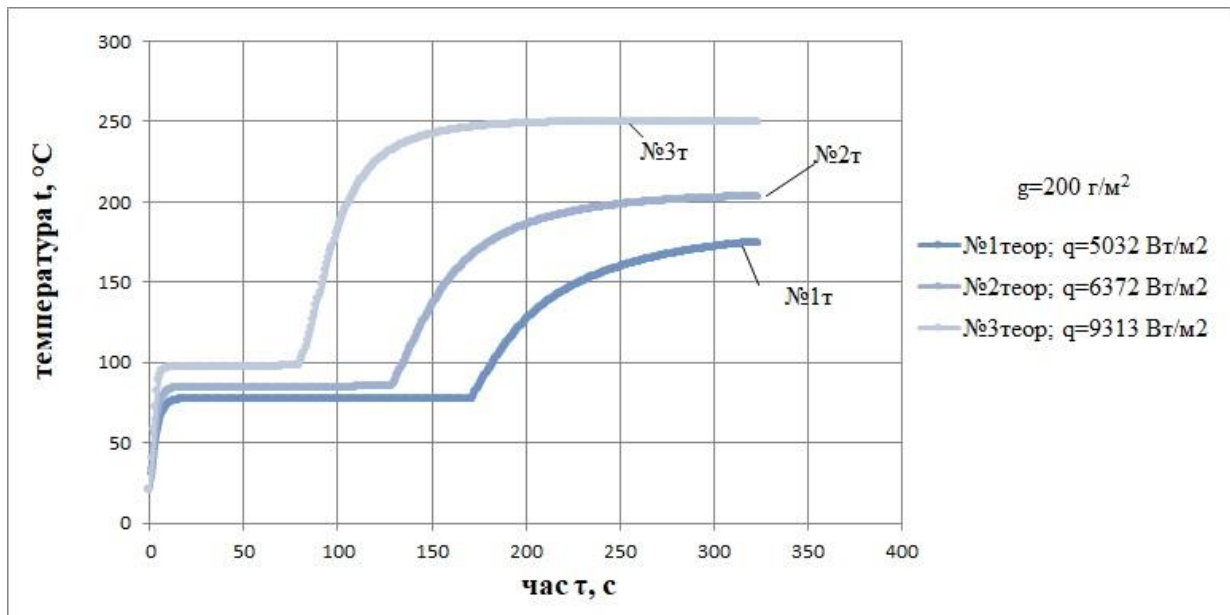
За отриманими даними побудовано графічні залежності вологовмісту зразків картону, наповненого цеолітом, від часу сушіння, а також температури поверхні картону від часу сушіння, за різних теплових потоків  $q_1=9313 \text{ Вт/м}^2$ ;  $q_2=6372 \text{ Вт/м}^2$ ;  $q_3=5032 \text{ Вт/м}^2$  та різних вмістів цеоліту.

На рисунку 2.3-2.4 показано залежність вологовмісту і температури від часу сушіння зразків масою  $200 \text{ г/м}^2$  за різних теплових потоків.



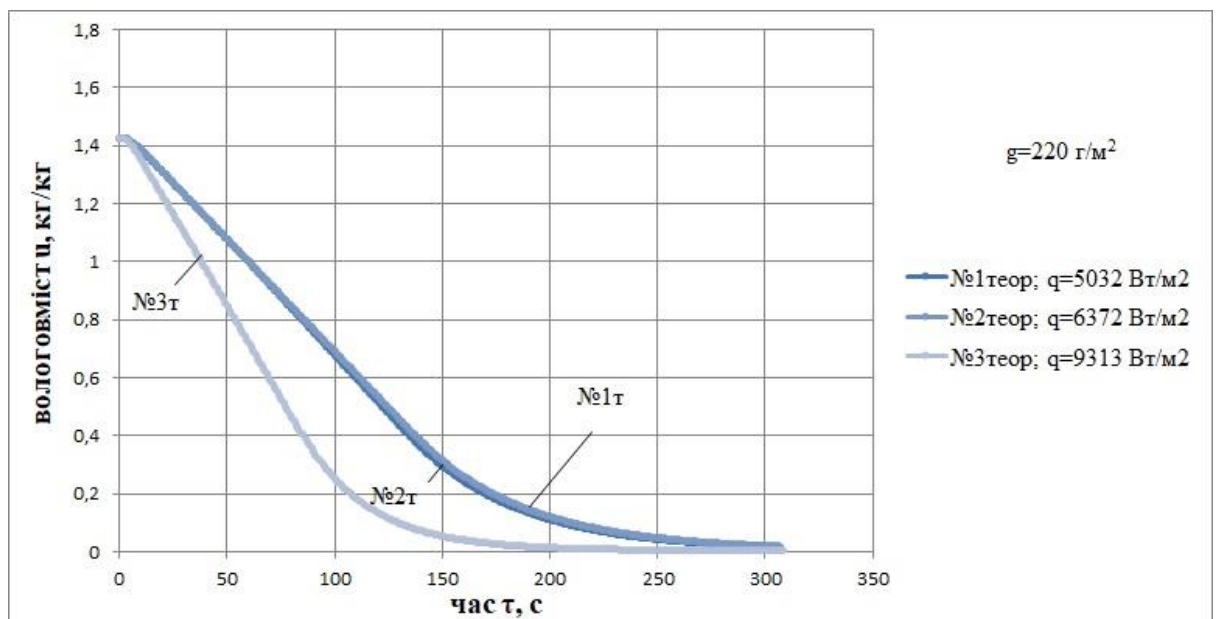
1 –  $q=5032 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $q=9313 \text{ кВт/м}^2$

Рисунок 2.3 – Теоретична залежність вологовмісту від часу сушіння картону з масою  $200 \text{ г/м}^2$



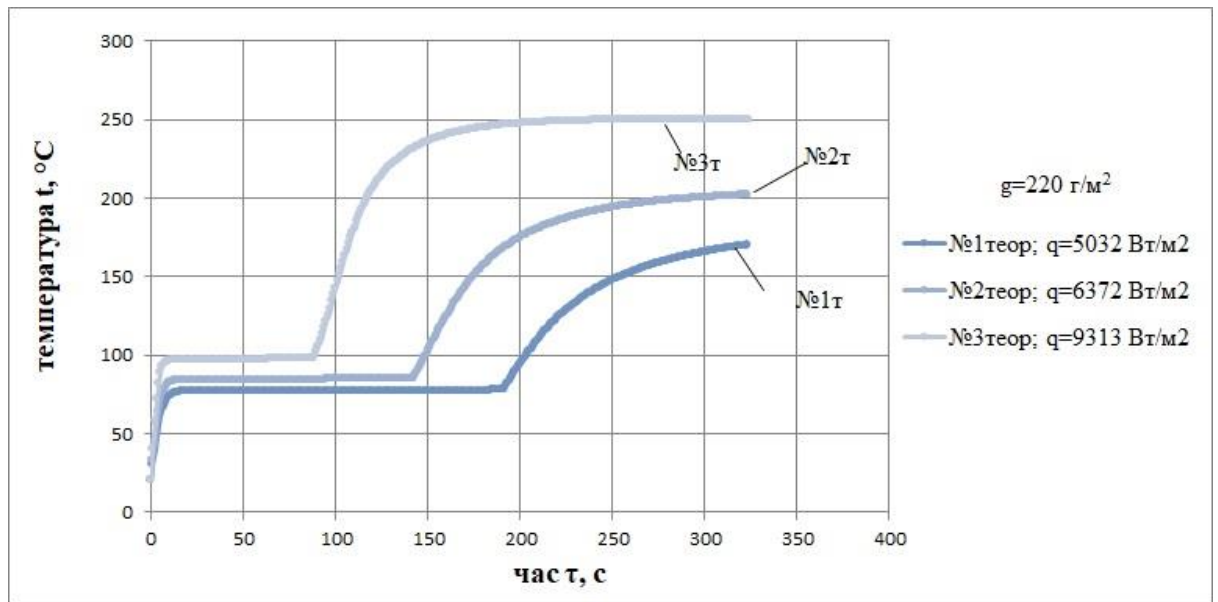
1 –  $q=5032 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $q=9313 \text{ кВт/м}^2$   
 Рисунок 2.4 – Теоретична залежність температури від часу сушіння картону з масою  $200 \text{ г/м}^2$

На рисунку 2.5-2.6 показано залежність вологовмісту і температури від часу сушіння зразків масою  $220 \text{ г/м}^2$  за різних теплових потоків.

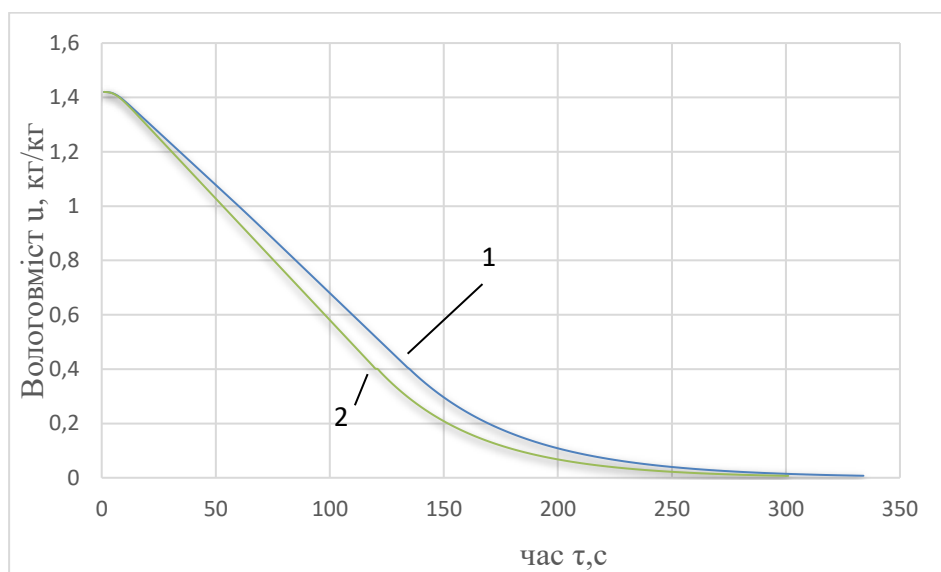


1 –  $q=5032 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $q=9313 \text{ кВт/м}^2$   
 Рисунок 2.5 – Теоретична залежність вологовмісту від часу сушіння картону з масою  $220 \text{ г/м}^2$

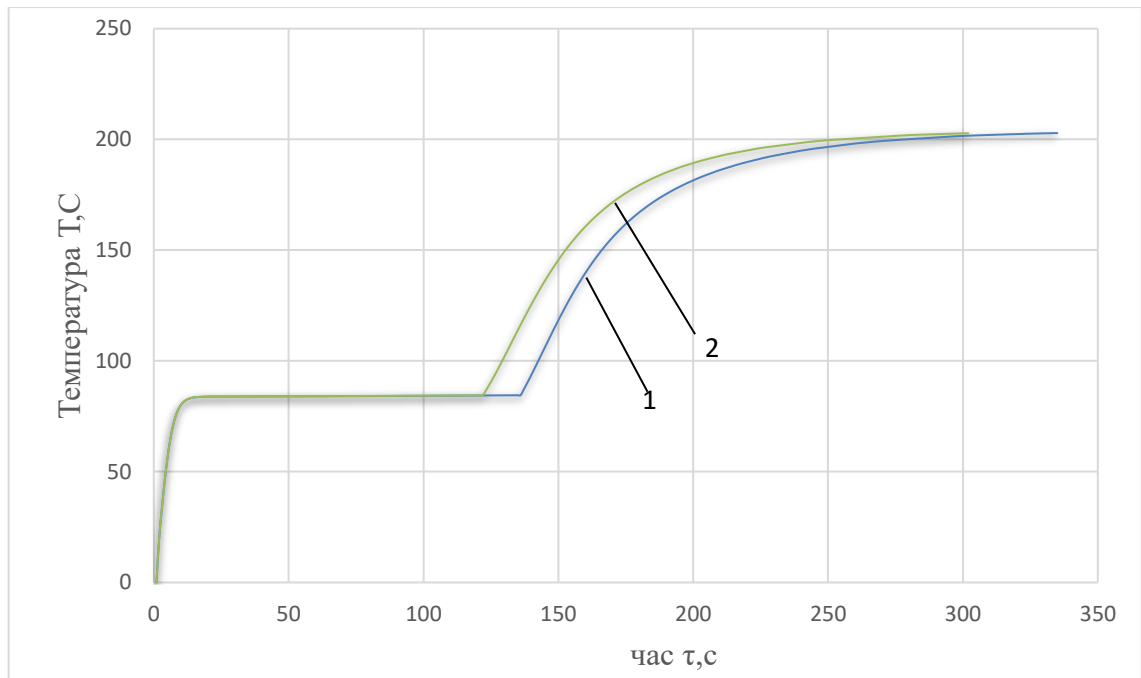




1 –  $q=5032 \text{ кВт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ кВт/м}^2$ ; 3 –  $q=9313 \text{ кВт/м}^2$   
 Рисунок 2.6 – Теоретична залежність температури від часу сушіння картону з масою  $220 \text{ г/м}^2$



1 - з наповнювачем; 2 - без наповнювача  
 Рисунок 2.7 – Теоретична залежність вологовмісту картону масою  $200 \text{ г/м}^2$  та вмістом цеоліту 18%



1 - з наповнювачем; 2 - без наповнювача

Рисунок 2.8 – Теоретична залежність температури від часу сушіння картону масою  $200 \text{ г/м}^2$  та вмістом цеоліту 18%

Аналіз кривих сушіння рисунок 2.3 та 2.5 показує, що картон швидко нагрівається до початку першого періоду сушіння. Час прогріву продовжується до 3-5 с, температура зростає до  $100^\circ\text{C}$ , а потім залишається сталою (рисунок 2.3 та 2.5).

Перший період сушіння за різних теплових потоків протікає з постійною швидкістю за 20-50 с. Температура картону в першому періоді сушіння збільшується зі збільшенням густини променевого теплового потоку. Це пояснюється тим, що мінеральний наповнювач (цеоліт) використаний при формування даного картону, має достатньо розвинену поверхню, на якій утримується не зв'язана волога. З закінченням випаровування поверхневої вологи, температура починає стрімко зростати з постійною швидкістю, відбувається другий період сушіння. Початок другого періоду характеризується швидким зростанням температури

зразка, з постійною швидкістю, що властиво за висушуванням вологи мікрокапілярів.

По закінченню проміжку постійної швидкості темп зростання температури сповільнюється по степеневому закону. В кінці процесу температурна крива займає горизонтальне положення. Температура картону досягає значення за якого приток теплоти до зразка і відток зрівнюються.

Вплив вмісту цеоліту в картоні на кінетику сушіння показано на рисунку 2.7 і 2.8. З рисунка 2.7 видно, що добавка цеоліту зменшує швидкість сушіння. Зменшення швидкості починає наростати по ходу процесу в першому періоді сушіння, досягає максимуму на початку другого періоду сушіння Далі по ходу процесу сушіння в другому періоді різниця швидкостей сушіння зменшується, але час сушіння до рівнозначної кінцевої вологи більший у зразків картону, наповненого цеолітом.

З графічної залежності температури картону за часу сушіння видно, що наповнювач цеоліт подовжує перший період сушіння.

## **2.5 Висновки**

1. Сформульовано основні положення фізичної моделі процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, із застосуванням енергії ІЧ випромінювача.

2. Складена математична модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, із застосуванням енергії ІЧ випромінювача. Згідно математичного описання перенесення випромінювання через повітря та картон описується за законами Стефана-Больцмана та Бугера.

3. Розроблена методика, алгоритм розрахунку та програма для розв'язання математичної моделі наведені в Додатоку А.

4. За результатами розрахунку математичної моделі встановлені графічні закономірності зміни вологовмісту та температури картону, наповненого цеолітом, за сушіння при густині теплових потоків  $q_1=9313 \text{ Вт/м}^2$ ;  $q_2=6372 \text{ Вт/м}^2$ ;  $q_3=5032 \text{ Вт/м}^2$  та вмісті наповнювача цеоліту 18%.

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КАРТОНУ, НАПОВНЕНОГО ЦЕОЛІТОМ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЇНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА**

#### **3.1 Експериментальне дослідження створення зразків картону, наповненого цеолітом**

В зв'язку з тим, що промислового зразку даного картону не існує, виникла необхідність в створенні нового картону.

До нового картону ставились наступні вимоги:

- достатньо високу сорбційну ємність, не менше 20 %;
- утримання наповнювача в картоні не менше 99%;
- показники міцності картону повинні відповідати ГОСТ ИСО 1924-1 [30] і ГОСТ 10711 [31];
- руйнівні зусилля в поперечному напрямку не менше – 80 Н;
- руйнівні зусилля при продавлюванні не менше – 270 Н.

Для дослідження обрано трьохфакторний експеримент. В якості факторів розглядались масової концентрації цеоліту, клею та поверхнево активних речовин (Синтанол ДС-10), наведені в таблиця 3.1.

Таблиця 3.1 – Фактори обрані для досліджень

Параметр	Фактори	Мінімальне значення	Середнє значення	Максимальне значення
$x_1, \%$	Цеоліт	6	12	18
$x_2, \%$	Клей	6	12	18
$x_3, \%$	ПАР	0,5	0,75	1

Вміст целюлозного волокна залишається постійним і складає 75% масових в сухій масі картону.

План проведення експерименту представлений матрицею I та II серії дослідів (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2. – Матриця для трьохфакторного експерименту з представленням I та II серії дослідів [33],[34]

I серія дослідів

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1

II серія дослідів

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$
9	0	0	0
10	1	0	0
11	-1	0	0
12	0	1	0
13	0	-1	0
14	0	0	1
15	0	0	-1

Прийняте рівняння регресії для трьохфакторного експерименту:

$$y_p = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_{12} x_1 x_2 + a_{13} x_1 x_3 + a_{23} x_2 x_3 \quad (3.1)$$

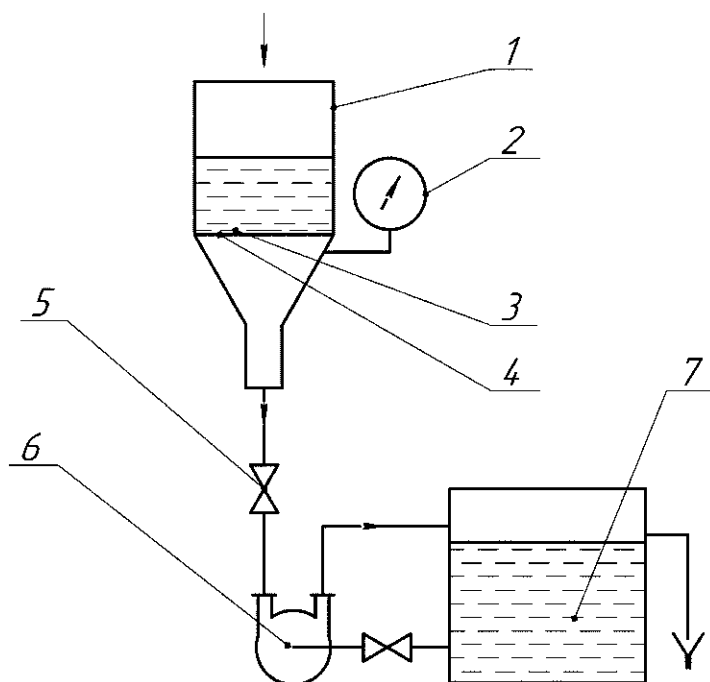
де  $y_p$  – сорбційна ємність дослідного зразка;  $x_1$  – вміст цеоліту;  $x_2$  – вміст клею;  $x_3$  – вміст поверхнево активних речовин;  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – експериментальні коефіцієнти.

В процесі виготовлення дослідних зразків встановлювалась залежність сорбційної ємності картону від таких показників, як вміст наповнювача - цеоліту, клею та поверхнево активних речовин.

Результати проведення експерименту наведені в Додатку Б.

### 3.2 Опис дослідної установки для виготовлення зразків картону

Експериментальна установка, схему якої показано на рисунку 3.1, призначена формувати зразки картону, наповненого цеолітом, для подальшого дослідження процесу сушіння.



- 1 – формуючий пристрій;  
 2 – вакуумметр; 3 – сітка;  
 4 – перфорована металева  
 пластина; 5 – регулятор вакууму;  
 6 – вакуум-насос; 7 – збірник  
 води

Рисунок 3.1 – Дослідна  
 установка для формування  
 зразків картону, наповненого  
 цеолітом

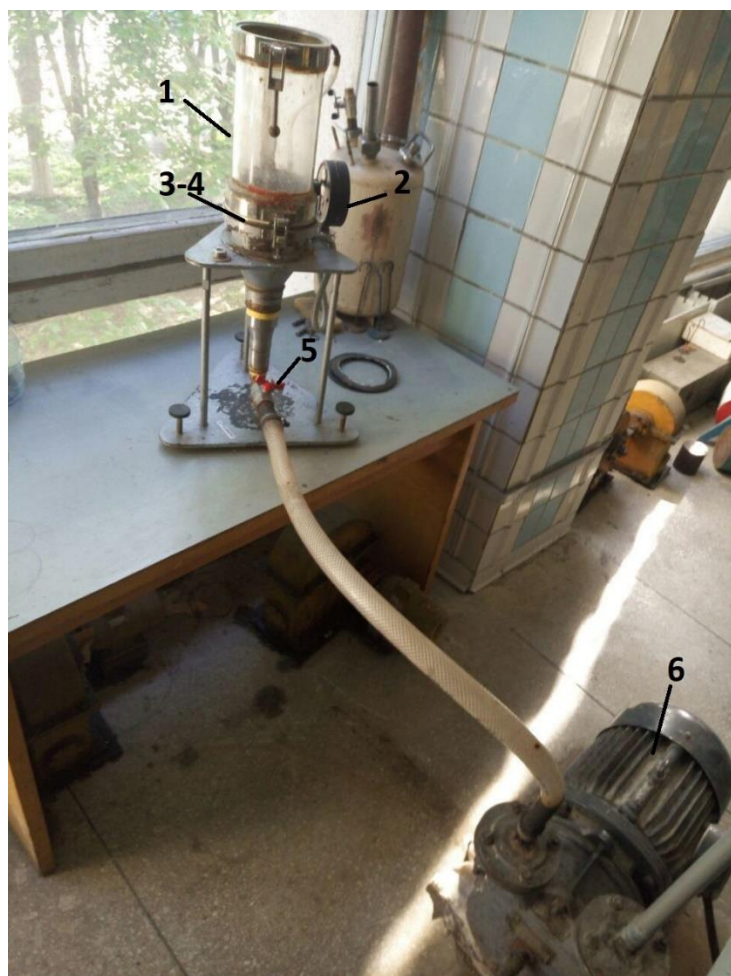


Фото експериментальної  
 установки показано на  
 рисунку 3.2.

- 1 – формуючий пристрій;  
 2– вакуумметр; 3 – сітка;  
 4 – перфорована металева  
 пластина; 5 – регулятор  
 вакууму; 6 – вакуум-насос;

Рисунок 3.2 –  
 Експериментальна дослідна  
 установка для формування  
 зразків картону

Розроблена дослідна установка дозволяє виготовити картон, наповнений  
 цеолітом.

Дослідна установка містить:

- сітку бронзову № 24, на якій відбувається формування зразків картонну;
- перфоровану металеву пластину, для підтримки бронзової сітки в горизонтальному положенні;
- водокільцевий вакуум-насос, що створює вакуум для зневоднення картонного полотна;
- вакуумметр Shine Year RG 80 VP, для контролю вакууму, який є рушійною силою фільтрації води;
- регулятор вакууму, що використовують для встановлення вакууму в межах від 0,02 - 0,08 МПа.
- діаметр отриманої відливки становить 115 мм, з якої вирізають 3 дослідних зразки діаметром 50 мм, для сушіння.

Відформовану відливку пропускають через вальцевий прес лабораторної машини ПРМ, де здійснюється її механічне зневоднення до сухості 40-45%.

### **3.3 Методика проведення експерименту**

Целюлоза сульфатна білена із хвойної деревини ГОСТ 9571-89 [34], марки ХБ-7 – целюлоза для різних видів пакувального паперу та картону, піддавалась розпуску та розмелюванню за допомогою лабораторних установок «Гідророзбивач» та «Млин». З дотриманням вимог до отриманої продукції за ГОСТ 13525.1 – підтримували градус помелу при розмелюванні в млинах до 60° ШР [35].

Цеоліт перед проведенням дослідів висушувався до кінцевої вологості 1-1,5%.

Формування зразка. Для виготовлення дослідних зразків готувалась водна суспензія з відповідним вмістом компонентів, які створювали суспензію з концентрацією сухих речовин 0,7%. Виготовлялись зразки картону масою 200 – 220 г/м<sup>2</sup>.



Формуючий пристрій, заповнювався водою до рівня сітки. Суспензія заливалась на сітку, після чого в нижній частині апарата створювався вакуум, під дією якого відбувалась фільтрація води через сітку. На сітці формувалася шар картону з наповнювачем. Після чого, циліндрична частина формуючого пристрою, відділялась і відформований зразок, знімався на сушко двохвального пресу, де відпресовувався до кінцевої сухості 40-45%. Зразки після використання в дослідних сушіння зважувались та зберігались в ексикаторі, заправленому кристалічним бішафітом.

Для дослідження сорбційної ємності картону висушені зразки з ексикатора зважувались, їх масу записували в журнал, після чого зразки розміщалися в ексикаторі, заправленому водою. При постійній температурі зразки в мокрому ексикаторі витримувались 24 години. Зволожені зразки зважувались, записувалась їх маса, розраховувались вологість та вологовміст зразків.

### 3.4 Результати експериментальних досліджень

Перша серія дослідів дозволила знайти коефіцієнти лінійної апроксимації:

$$y_p = f(x_1, x_2, x_3) = 2,315 + 0,649x_1 + 0,428x_2 + 0,579x_3 \quad (3.2)$$

Лінійна апроксимація нечітко описує дійсну залежність  $y = f(x_1, x_2, x_3)$ , тому до поставлених дослідів додано додаткову серію дослідів.

Додаткова серія дослідів дала можливість отримати більш точне рівняння регресії:

$$y_p = f(x_1, x_2, x_3) = 2,357 + 0,045x_1 - 0,0143x_2 + 0,009x_3 + 0,045x_1x_2 - 0,014x_1x_3 + 0,009x_2x_3 \quad (3.3)$$

Згідно з отриманими даними експерименту найбільший вплив на

сорбційну ємність картону мають: вміст цеоліту та поверхнево активних речовин.

Межі використання цеоліту від 6 – 20%, при такій кількості цеоліт добре утримується в картоні та не погіршуються механічні властивості. Поверхнево активні речовини- Синтанол ДС-10 в кількості 0,5 – 1%, дозволяє утримувати наповнювач в картону до 95%. Клей модифікований від 6-18% - такий вміст клею не забиває пори цеоліта та добре проклеює картон.

### 3.5 Визначення похибок вимірювання

Під час проведення експерименту використовувались такі вимірювальні пристрої:

- електронні ваги (дискретність 0,001 г, точність  $\pm 0,001$  г);

Отже максимальна абсолютна похибка становить:

- при вимірювання маси  $\Delta = \pm 0,0005$ г;

Відносна похибка [24]:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{дійсне}}} = \frac{\Delta}{\mp \Delta + x_{\text{виміряне}}} \quad (3.4)$$

Найбільша відносна похибка вимірювань буде при мінімальному значенні, що вимірюється. Для маси 0,220 г/м<sup>2</sup> воно становить (додаток Г).

Тоді максимально можлива відносна похибка вимірювання маси:

$$\delta_{m \max} = \frac{\Delta_m}{\pm \Delta_m + m_{\min}} = \frac{0,001}{\pm 0,001 + 0,220} \cdot 100\% = 0,45\% \quad (3.6)$$

Середньгеометрична відносна похибка діапазону вимірювання:

$$\delta_{\text{діап.}} = \sqrt{(\delta_{\text{поч.}})^2 + (\delta_{\text{кінц.}})^2} \quad (3.7)$$

де  $\delta_{\text{поч.}}$ ,  $\delta_{\text{кінц.}}$  – відносна похибка початкового та кінцевого значення діапазону вимірювальних величин.

### 3.6 Перевірка адекватності рівняння регресії

Проведено перевірку адекватності отриманого рівняння регресії експериментальним значенням сорбційної ємності дослідних зразків. Перевірка адекватності виконувалась за методом Фішера.

Визначаємо розрахункове значення  $F$ - критерію Фішера, яке має вигляд співвідношення (таблиця 3.4):

$$F_{\text{розр}} = s_{\text{ад}}^2 / S_y^2, \text{ якщо } s_{\text{ад}}^2 > S_y^2; \quad (3.8)$$

$$F_{\text{розр}} = S_y^2 / s_{\text{ад}}^2, \text{ якщо } S_y^2 > s_{\text{ад}}^2; \quad (3.9)$$

де  $s_{\text{ад}}^2$ - дисперсія адекватності ( для теоретичних даних);

$S_y^2$ - дисперсію відновлюваності (для експериментальних даних).

Для початку визначаємо дисперсію адекватності (за теоретичними даними):

$$s_{\text{ад}}^2 = n \sum_{j=1}^n (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2 / f_{\text{ад}} \quad (3.10)$$

Дисперсію відновлюваності дослідів (за експериментальними даними):

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 \quad (3.11)$$

Таблиця 3.4 –Значення  $F$ - критеріїв Фішера

N дослідів	Розрахунковий $F_p$ - критерій Фішера	Табличний $F_T$ - критерій Фішера
1	1,63	2,85
2	1,58	2,85
3	1,81	2,85
4	1,76	2,85
5	1,49	2,85
6	1,45	2,85
7	1,66	2,85
8	1,62	2,85
9	1,62	2,85
10	1,69	2,85

11	1,56	2,85
12	1,54	2,85
13	1,71	2,85
14	1,65	2,85
15	1,60	2,85

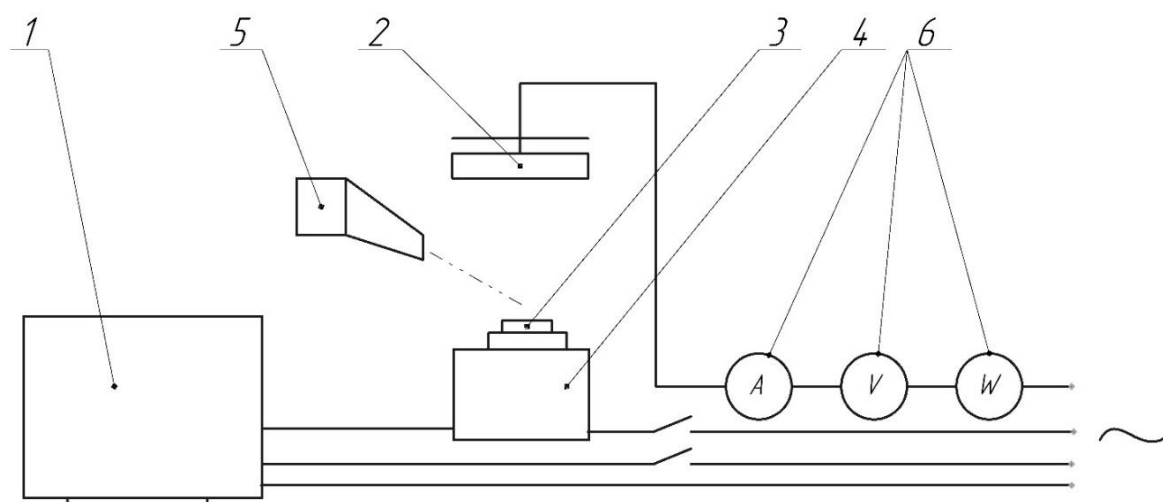
$$F_p < F_T = 1,81 < 2,85$$

Проведено перевірку адекватності даного рівняння регресії, та визначено що рівняння регресії відтворюватиме значення критерію оцінки з тією ж точністю, що і результати експерименту.

### 3.7 Опис експериментальної установки дослідження кінетики сушіння картону, наповненого цеолітом

Для перевірки адекватності математичної моделі (2.7) була підготовлена лабораторна дослідна установка ( рисунки 3.3-3.4).

Установка призначена для сушіння картону з використанням інфрачервоного випромінювання.



1 – персональний комп'ютер; 2 –інфрачервоний випромінювач; 3 – картон;  
4 – електронні ваги; 5 – пірометр; 6 – ватметр, амперметр, вольтметр.

Рисунок 3.3 – Дослідна установка для сушіння картону ІЧ випромінюванням

Фото дослідної установки зображено на рисунку 3.4.



1 – персональний комп'ютер; 2 –інфрачервоний випромінювач; 3 – картон;  
4 – електронні ваги; 5 – пірометр.

Рисунок 3.4 – Фото дослідної установки сушіння картону

Дослідна установка містить:

- інфрачервоний керамічний електричний випромінювач типу ЕСН4, нагрівальним елементом якого є реостатна проволока, що залита в керамічний корпус. Максимальна потужність випромінювача 1 кВт, розміри робочої поверхні випромінювання 122 x122 мм;
- електронні ваги Kern 440-21А, що дозволяють вимірювати масу зразка до 60 грам. Похибка вимірювання становить не більше 0,001 г, частота вимірювань - 3 виміри на секунду;
- комп'ютер забезпечує безперервний запис і обробку результатів вимірювання з електронних ваг;
- пірометр TN425LE безконтактно вимірює температуру поверхні зразка з відносною похибкою  $\pm 0,5\%$ ;
- ватметр, амперметр та вольтметр постійно контролюють напругу і силу струму та потужність випромінювача, які необхідні для контролю інфрачервоного випромінювача.

### Методика проведення експерименту

Для проведення експериментів виготовлялись дослідні зразки однакового розміру  $\varnothing 50$  мм. Висушувались на лабораторній установці до постійної маси, після чого зважувались, а їх номери і маси записувались в журнал, після зважування дослідні зразки зберігаються в ексикаторі з бішафітом,.

Напруга і струм та потужність випромінювача контролюються вольтметром, амперметром та ватметром.

Зміна маси автоматично вимірювалась вагами та записується в програмі Microsoft Excel 2007 на комп'ютері.

Температура поверхні картону вимірювалась пірометром, а час секундоміром з відносною похибкою 0,5%.

### **3.8 Порядок проведення експерименту**

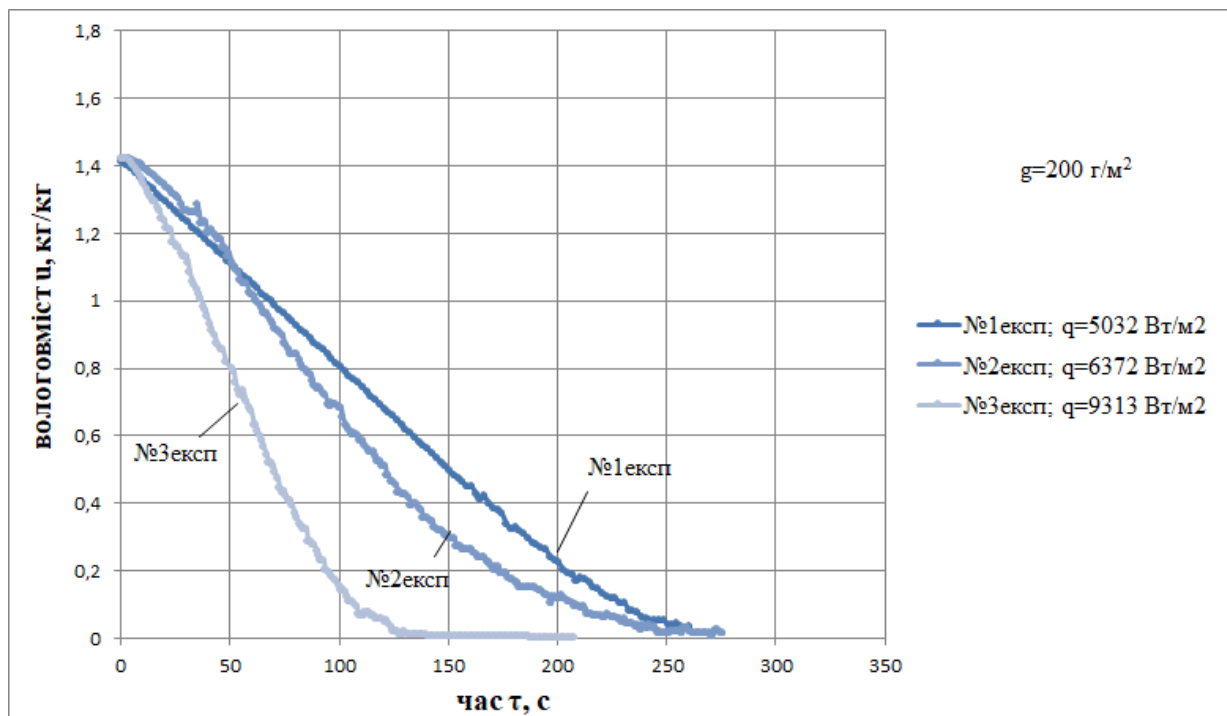
1. Перевірити справність установки та її заземлення;
2. Виготовленні зразки картону витримувались в ексикаторі з водою, для збереження незмінної їх вологості;
3. Розміщуємо зразок на сітку, що знаходиться на вагах;
4. Розмістивши інфрачервоний випромінювач над поверхнею паперу на задану висоту. Одночасно запускаємо програму для передачі в програмне забезпечення комп'ютера показань зміни маси в часі;
5. Перевіряємо справність амперметра, вольтметра та ватметра на наявність необхідної напруги в мережі;
6. Заміряємо пірометром початкову температуру поверхні картону ( $t_{\text{поч.}}$ );
7. Вмикаємо комп'ютер, ваги та інфрачервоний випромінювач;

8. Періодично (1 раз за кожні 3÷5 секунд) заміряємо пірометром показання температури поверхні картону та записуємо поряд з відповідними показаннями часу.
9. Після досягнення стабілізації величини маси картону зупиняємо передачу показань.
10. Зразки висушеного картону зважувались і ставились в ексикатор.
11. Вимикаємо ІЧ випромінювач.
12. Вимикаємо комп'ютер, ваги та пірометр.
13. Прибираємо робоче місце.

### **3.9 Дослідження кінетичних закономірностей процесу сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювача**

#### **3.9.1 Дослідження залежності вологовмісту від часу сушіння картону, наповненого цеолітом, при різній густині теплового потоку**

Результати експериментальних даних наведені в Додатку Д, на основі яких побудовані графічні залежності вологовмісту від часу сушіння картону, наповненого цеолітом при різній густині теплового потоку для 200 та 220 г/м<sup>2</sup> рисунок 3.5-3.6.



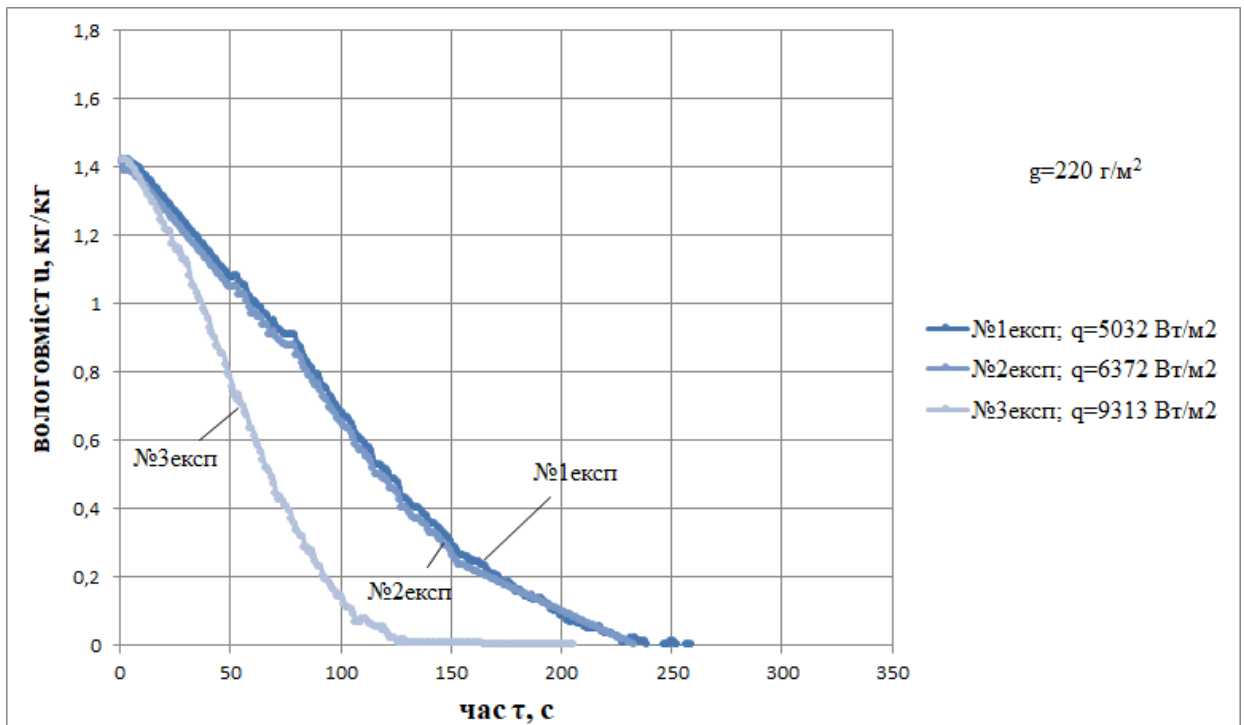
1 –  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3 –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

Рисунок 3.5 – Залежність вологовмісту картону масою  $200 \text{ г/м}^2$ ,  
наповненого цеолітом 6%, від часу сушіння

З рисунків видно, що криві сушіння картону при різних теплових потоках мають однаковий характер зміни швидкості сушіння. На них можна виділити три періоди: період прогріву, період постійної швидкості сушіння та другий період сушіння, швидкість якого зменшується за степеневим законом.

Зі збільшенням густини променевого теплового потоку швидкість сушіння в першому періоді значно збільшується, час сушіння в першому періоді практично в 1,5 рази більший від часу сушіння в першому періоді, очевидно це викликано впливом цеоліта, який накопичує значну кількість поверхневої не зв'язаної води.





1 –  $q=9313$  Вт/м<sup>2</sup>; 2 –  $q=6372$  Вт/м<sup>2</sup>; 3 –  $q=5032$  Вт/м<sup>2</sup>

Рисунок 3.6 – Залежність вологовмісту картону масою 220 г/м<sup>2</sup>,  
наповненого цеолітом 18%, від часу сушіння

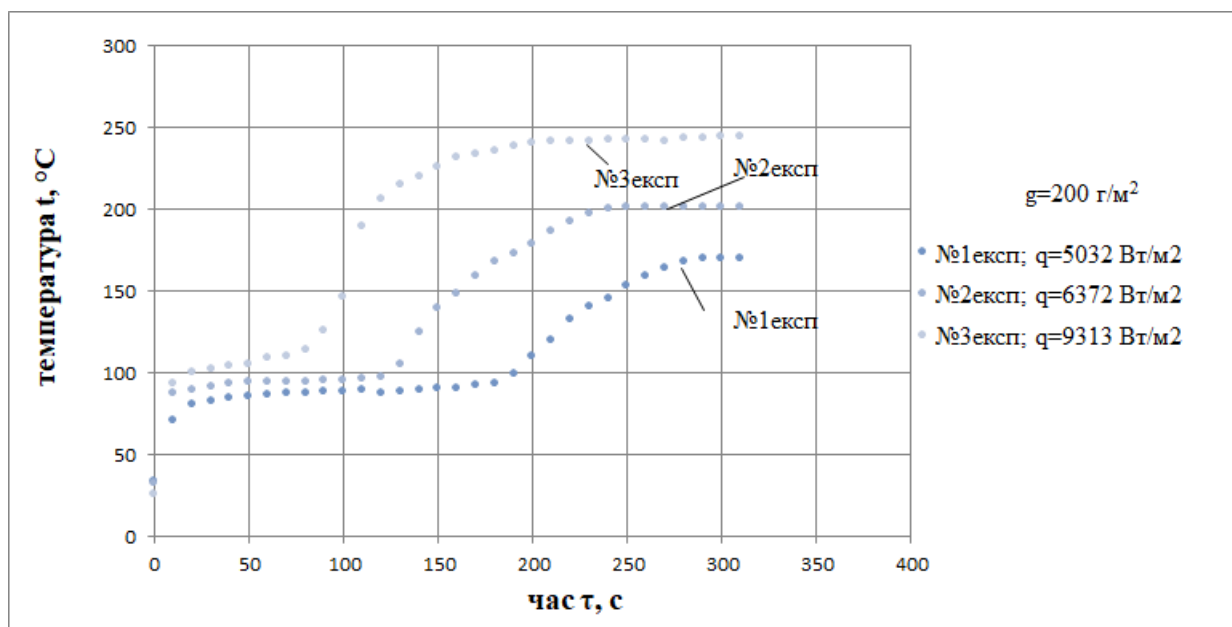
Для більш детального аналізу швидкості у кожній експериментальній точці проводимо уявну дотичну. Тангенс кута нахилу дотичної до кривої, що еквівалентний швидкості сушіння зростає, тому можна стверджувати, що в періоді прогріву швидкість сушіння  $\frac{dU}{d\tau}$  збільшується. В першому періоді швидкість сушіння стала, про що свідчить прямий відрізок кривої сушіння. В другому періоді швидкість сушіння спадає, кут нахилу дотичної зменшується.

Період прогріву досить малий, а перший період сушіння за різних теплових потоків протікає з постійною швидкістю. Зі збільшенням теплового потоку перший період зменшується, це пояснюється тим, що мінеральний наповнювач (цеоліт) використаний при формування даного картону, має достатньо розвинену поверхню, на якій утримується не зв'язана волога. А другий період сушіння зі збільшенням густини теплового

поток збільшується, тому що мінеральний наповнювач вміщує адсорбційно зв'язану воду та воду в мікрокапілярах.

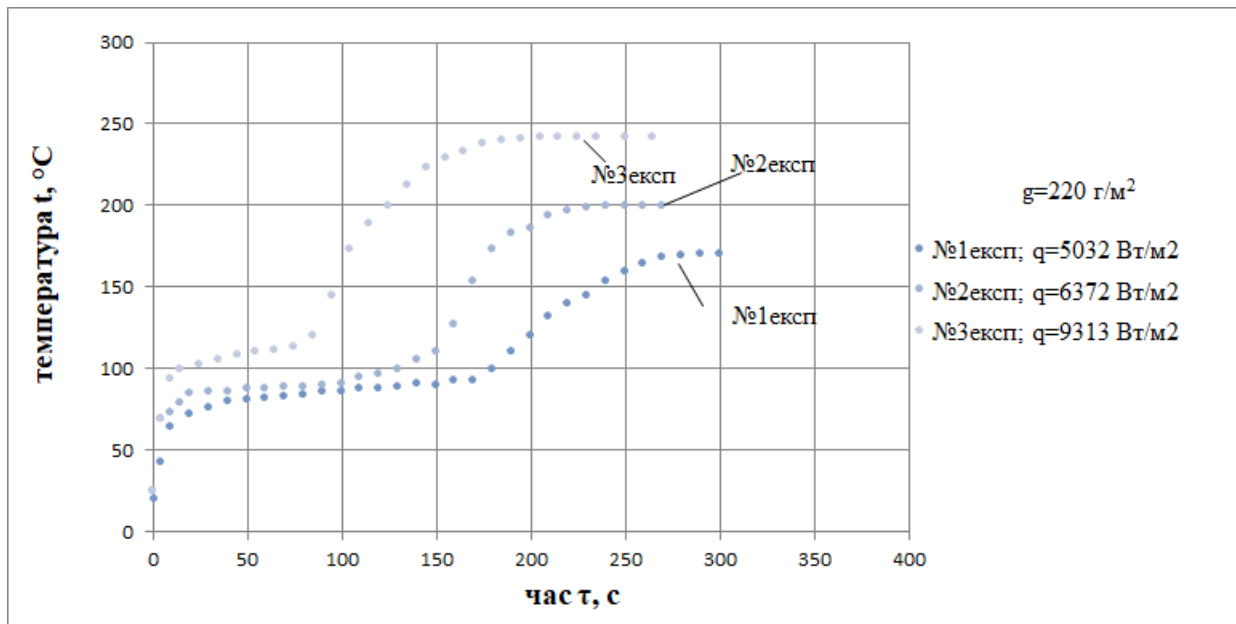
### 3.9.2 Дослідження залежності температури поверхні картону, наповненого цеолітом від часу сушіння, при різній густині теплового потоку

Залежності температури поверхні від часу сушіння картону при різній густині теплових потоків приведені на рисунках 3.7-3.8 (додаток Д).



1 –  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3 –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

Рисунок 3.7- Залежності температури поверхні картону масою  $200 \text{ г/м}^2$  наповненого цеолітом 6%, від часу сушіння за різної густини теплових потоків

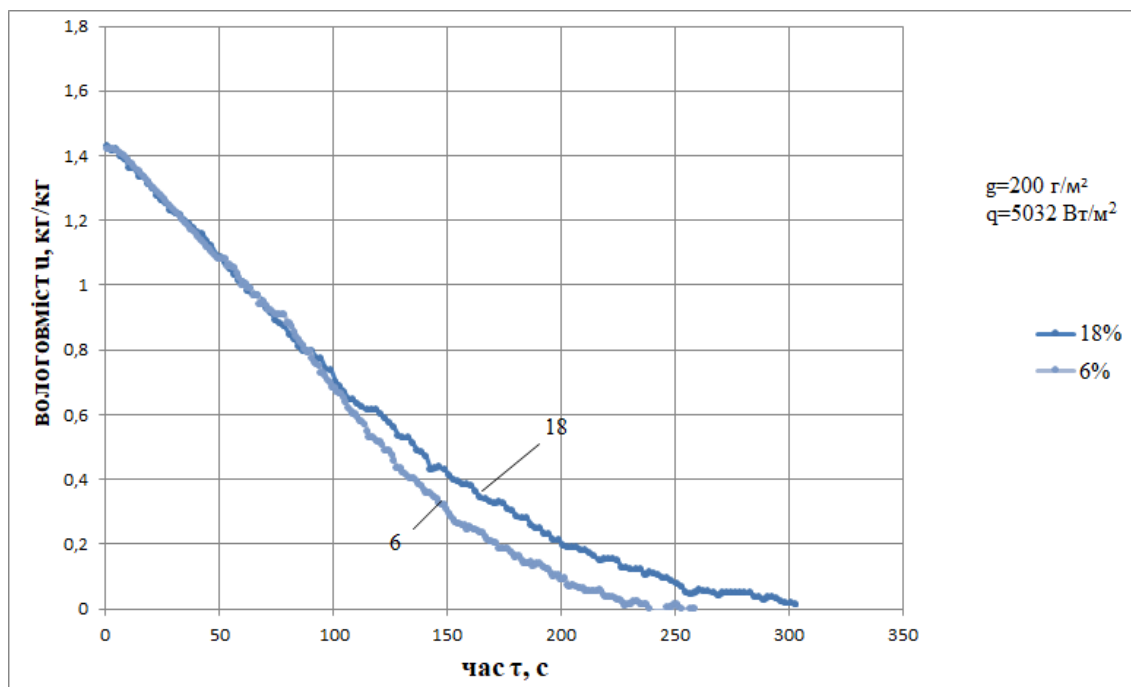


1 –  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 –  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3 –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

Рисунок 3.8- Залежності температури поверхні картону масою  $220 \text{ г/м}^2$  наповненого цеолітом 18%, від часу сушіння за різної густини теплових потоків

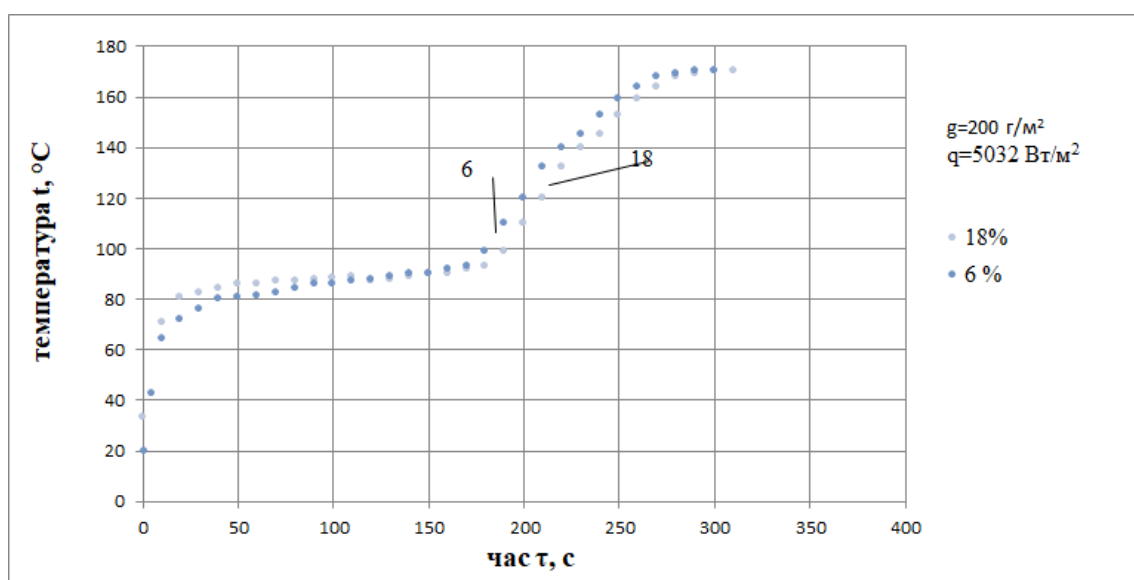
З рисунків 3.7-3.8 видно, що процес нагрівання та сушіння картону відбувається з досить великою швидкістю в результаті інтенсивного підводу тепла до поверхні картону. При чому, помітно, що при збільшенні густини теплового потоку, температура поверхні картону збільшується, за рахунок чого перший період сушіння стає меншим. З закінченням випаровування поверхневої вологи, температура починає стрімко зростати з постійною швидкістю, відбувається другий період сушіння, це можна пояснити випаровуванням вологи з мікрокапілярів. Після стрімкого росту температура починає швидко спадати по криволінійній траєкторії, після чого темп зростання зменшується до мінімального значення від якого вона продовжує зростати з дуже малою постійною швидкістю по лінійному закону до рівноважного значення.

### 3.9.3 Дослідження залежності вологовмісту та температури при різних концентраціях цеоліту в картоні



6 % цеоліту в картоні; 18% цеоліту в картону

Рисунок 3.12 –Залежність вологовмісту картону масою 200 г/м<sup>2</sup> та вмістом цеоліту 6% та 18% від часу сушіння



6 % цеоліту в картоні; 18% цеоліту в картону

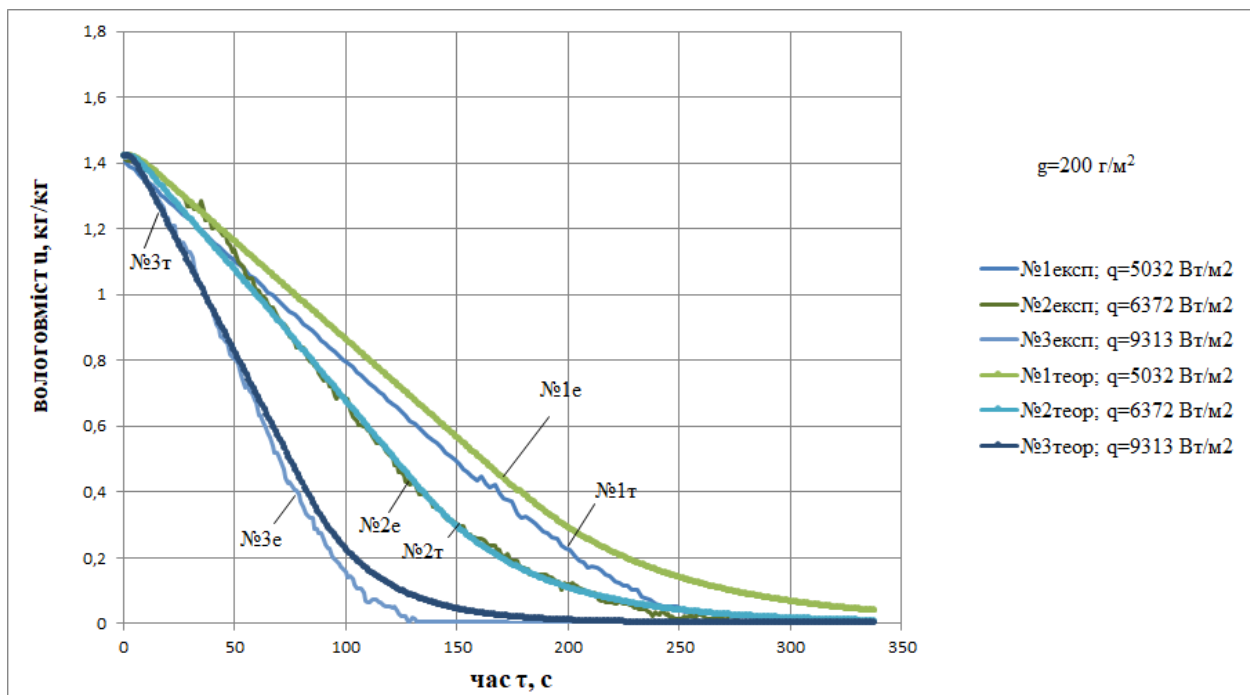
Рисунок 3.13–Залежність температури від часу сушіння картону масою 200 г/м<sup>2</sup> та вмістом цеоліту 6% та 18%

Як помітно з рисунків 3.12 та зі збільшенням вмісту цеоліту в картоні зменшується швидкість сушіння та збільшується час сушіння.

Зменшення швидкості сушіння стає помітно в середині першого періоду сушіння. Також з температурної залежності 3.13 видно, що збільшення вмісту цеоліту подовжує нагрівання в першому періоді сушіння. Це очевидно, можна пояснити збільшенням вологи, зв'язаної поверхнею і нанокапілярами цеоліта.

### 3.9.2 Перевірка адекватності математичної моделі

На рисунках 3.13 -3.16 наведені графічні залежності експериментальних даних та даних отриманих теоретичним шляхом при розв'язку математичної моделі.

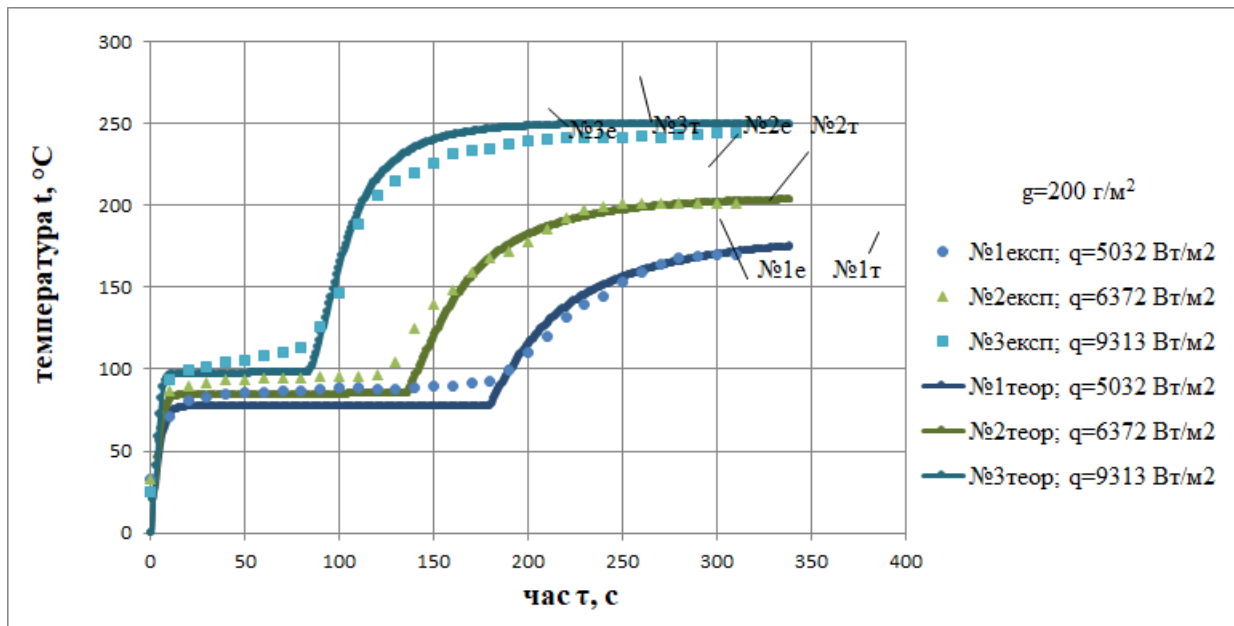


1 екс–  $q=9313$  Вт/м²; 2 екс–  $q=6372$  Вт/м²; 3екс –  $q=5032$  Вт/м²

1 теор–  $q=9313$  Вт/м²; 2 теор –  $q=6372$  Вт/м²; 3теор –  $q=5032$  Вт/м²

Рисунок 3.13- Залежність вологовмісту від часу сушіння картону

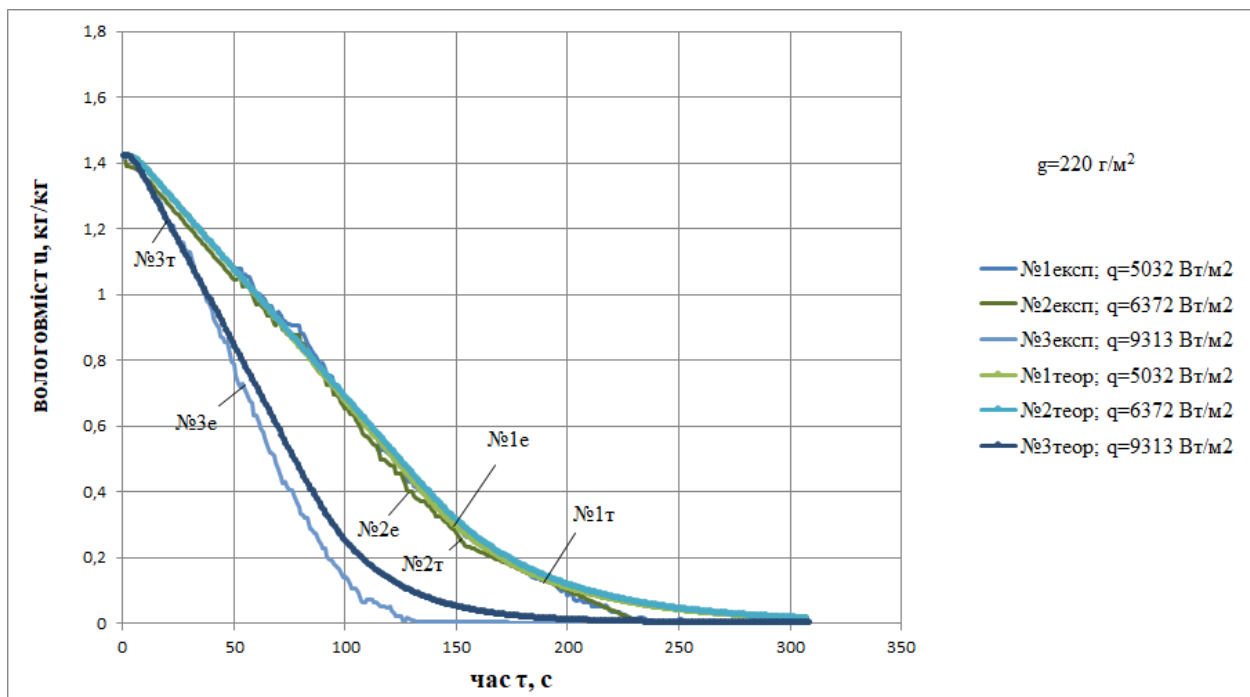
масою 200 г/м²



1 екс–  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 екс–  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3екс –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

1 теор–  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 теор –  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3теор –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

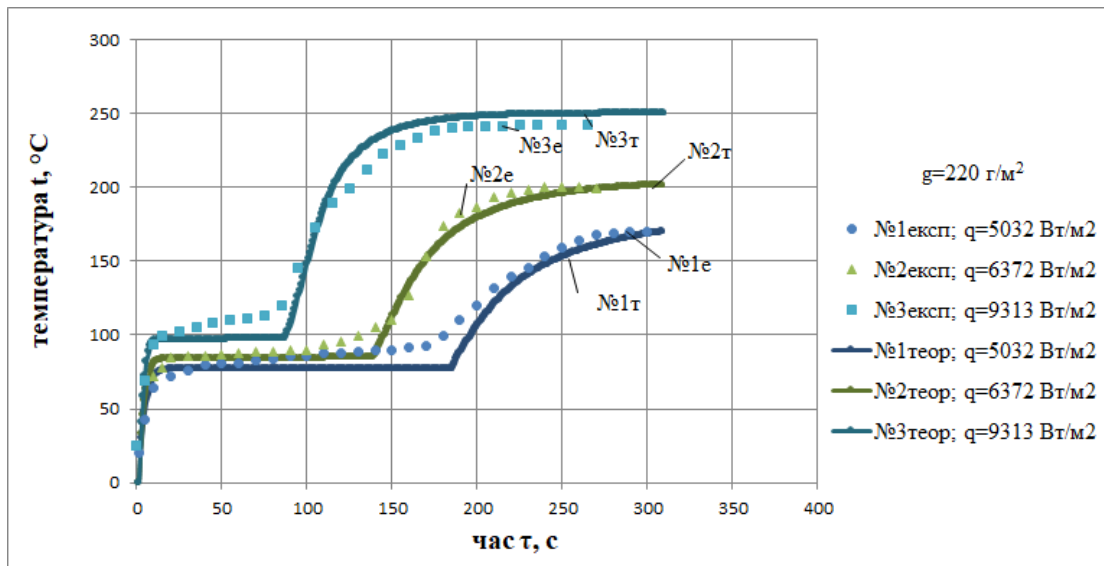
Рисунок 3.16- Залежність температури від часу сушіння картону  
масою  $200 \text{ г/м}^2$



1 екс–  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 екс–  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3екс –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

1 теор–  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 теор –  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3теор –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

Рисунок 3.15- Залежність вологовмісту від часу сушіння картону  
масою  $220 \text{ г/м}^2$



1 екс–  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 екс–  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3екс –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

1 теор–  $q=9313 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 теор –  $q=6372 \text{ Вт/м}^2$ ; 3теор –  $q=5032 \text{ Вт/м}^2$

Рисунок 3.16- Залежність температури від часу сушіння картону  
масою  $220 \text{ г/м}^2$

Збільшення відхилень теоретичних та експериментальних значень вологовмісту від часу та температури від часу сушіння можна пояснити збільшенням енергії на подолання сил міжкапілярної води, що не враховувалося в рівняннях математичної моделі.

### 3.10 Визначення похибок вимірювання

Під час проведення експерименту використовувались такі вимірювальні пристрої:

- електронні ваги (дискретність  $0,001 \text{ г}$ , точність  $\pm 0,001 \text{ г}$ );
- пірометр (дискретність  $0,1^\circ\text{C}$ , точність  $\pm 1^\circ\text{C}$ );
- секундомір (дискретність  $0,5\text{с}$ , точність  $0,5 \text{ с}$ )

Отже максимальна абсолютна похибка становить:

- при вимірювання маси  $\Delta=\pm 0,0005\text{г}$ ;
- при вимірювання температури  $\Delta=\pm 1^\circ\text{C}$ ;

- при вимірюванні часу за вимірювання температури поверхні паперу  $\Delta = \pm 0,5\text{с}$ .

Відносна похибка [24]:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_{\text{дійсне}}} = \frac{\Delta}{\mp \Delta + x_{\text{виміряне}}} \quad (3.12)$$

Найбільша відносна похибка вимірювань буде при мінімальному значенні, що вимірюється. Для маси воно становить  $0,200 \text{ г/м}^2$  (додаток Е).

Тоді максимально можлива відносна похибка вимірювання маси:

$$\delta_{m \max} = \frac{\Delta_m}{\pm \Delta_m + m_{\min}} = \frac{0,001}{\pm 0,001 + 0,200} \cdot 100\% = 0,49\% \quad (3.13)$$

Мінімальна величина температури становить  $20^\circ\text{C}$  (додаток Е). Тоді максимально можлива відносна похибка вимірювання температури становить:

$$\delta_{t \max} = \frac{\Delta_t}{\pm \Delta_t + t_{\min}} = \frac{1}{\pm 1 + 20} \cdot 100\% = 4,7 \div 5,2\% \quad (3.14)$$

Мінімальна величина зміни часу для секундоміра становить  $5 \text{ с}$  (додаток Е). Тоді максимально можлива відносна похибка вимірювання часу становить:

$$\delta_{\tau \max} = \frac{\Delta_{\tau}}{\pm \Delta_{\tau} + \tau_{\min}} = \frac{0,5}{\pm 0,5 + 20} \cdot 100\% = 2,4 \div 2,6\% \quad (3.15)$$

Час вимірюється комп'ютером, відповідно похибка часу тут дуже мала.

### 3.11 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Відповідно до Закону України до технічного обладнання про умови праці від 14. 10 1992 р. необхідно розробити умови праці для обслуговуючого персоналу, вибрати засоби захисту.

В даній магістерській дисертації на тему «Процес сушіння картону зі спеціальними наповнювачами» представлено формуючу частину та сушильну частину, а саме інфрачервоний випромінювач. Правила безпеки



під час роботи повинні відповідати «Єдиним вимогам безпеки до технологічного обладнання целюлозно-паперового виробництва». На всіх підприємствах та в лабораторіях повинні створюватись здорові і безпечні умови праці.

Ці умови включають раціональне використання площі виробничих приміщень та місць розташування обладнання, вірну експлуатацію обладнання і організацію технологічних процесів, захист працюючих від впливу шкідливих умов праці, додержання у виробничих приміщеннях, місцях розташування обладнання та на робочих місцях санітарно-гігієнічних норм та правил. До проведення експерименту допускаються лише працівники, які пройшли інструктаж, та знаходиться в приміщенні. Площа лабораторії, об'єм такий.

Дослідницькі роботи, виконує інженер дослідник, який виконує свої обов'язки в приміщенні площею  $S=10\text{м}^2$  та загальним об'ємом приміщення  $V=100\text{м}^3$ .

Під час роботи формуючого пристрою та інфрачервоного випромінювача, для сушіння, мають місце такі шкідливі та небезпечні фактори:

- виробничий шум;
- електробезпека;
- повітря робочої зони;
- вибухо-пожежна безпека;
- іонізуюче випромінювання.

### **3.11.1 Виробничий шум**

Основними джерелами шуму при роботах промислових сушильних частин КРМ є обертові вали, циліндри, паровпускний пристрій та електродвигуни, насоси.

При проведенні експерименту використовується водокільцевий вакуум-насос, що створює вакуум для зневоднення картонного полотна, шум при роботі 98 дБА.

Зниження рівня шуму досягається шляхом шумопоглинання. Об'єкт, який випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки, якого покривають шумопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню обладнання під час роботи, не ускладнювати його обслуговування, не псувати інтер'єр. Даний шумопоглинальний матеріал дозволяє знизити шум на 30 дБА.

Також для зменшення шуму слідкують за рівнем змащувальної речовини в підшипникових вузлах, що дозволяє зменшити шум на 8...10 дБА.

Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до рівня, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99 до 60дБА.

Персонал, який працює, забезпечений протишумовими навушниками ПШН-Б ГОСТ12.4.051.87, що знижують рівень шуму до 22...28 дБА, зусилля притискання регулюється згинанням і розгинанням наголовника. Протишумовими вкладишами «Беруши СТ-1» ТУУ25513947.002-99, призначенні для індивідуального захисту органів слуху від виробничих та побутових шумів, що знижують рівень шуму до 16...20 дБА (є засобами одноразового використання).

Рекомендовано в лабораторіях, де є шум встановлювати: двохкамерні вікна 4-14-3.3.1(6.38) Тріплекс – звукоізоляція яких 28..30 дБА; шумопоглинальні двері фірми Алькон – 30 дБА.

### 3.11.2 Електробезпека

Клас приміщення, в якому розміщена лабораторна установка— по ПУЕ — II. Оскільки в лабораторії розміщено понад 20 навчальних лабораторних установок. Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою. Класифікація приміщення за характером навколишнього середовища — вологе (відносна вологість повітря в приміщенні перевищує 75%).

Оскільки для роботи обладнання використовується струм напругою 220/380В та частотою 50 Гц, то використовують трьохфазну трьох провідникову мережу з ізольованою нейтраллю, оскільки вона дозволяє використовувати дві робочі напруги — лінійну та фазову. Мережа з ізольованою нейтраллю в ізольованому режимі є найбільш безпечною при доторканні до фазового проводу.

Міри, що забезпечують електробезпеку:

1. в робочому режимі:
  - забезпечення неприступності струмоведучих частин (розміщення на неприступній висоті, більш 2,7м., огороження зон підключення устаткування);
  - надійно ізолюємо елементи конструкції, що проводять електричний струм ( $R_{iy} \geq 0,5 \text{ МОм}$  — опір ізоляції);
  - кабелі укладаємо в «рукави»;
  - встановлюємо електричне блокування на огорожі струмоведучих частин;
  - встановлюємо орієнтацію в електроустановках (попереджувальні сигнали та знаки; написи «220 В», «380 В» та таблички «Обережно! Електрична напруга»; знаки високої напруги; відповідне розташування і колір неізольованих струмоведучих частин і ізоляції; фарбування органів

управління у відмінний від інший колір та встановлення світлової сигналізації); обслуговуючому персоналу видаємо засоби захисту (діелектричні килимки, рукавички, індикатори струму та напруги);

2. в аварійному режимі : захисне заземлення. Розрахунок захисного заземлення наведений в п. 4.4.2.1.

У разі дотику людини до незаземленого корпусу сила струму, що протікає через людину:

$$I_{\text{лд}} = \frac{U_{\text{м}}}{R_{\text{лд}} + \frac{r}{3}} = \frac{220}{2000 + 10000/3} = 0,41, \text{ А}$$

Де  $U_{\text{м}}$  — напруга мережі;  $r$  — опір витoku проводу мережі, Ом;  $R_{\text{лд}}$  — опір кола людини, Ом.

Для людини рівень 0,2мА. Тому в аварійному режимі приміняється захисне заземлення, розрахунок захисного заземлення наведений нижче.

### 3.11.2.1 Розрахунок захисного заземлення

Початкові дані:

1. Виконання мережі – з ізольованою нейтраллю. Напруга мережі 380/220 В.

2. Тип заземлюваного пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами:

$l_B = 3\text{ м}$ ;  $d_B = 0,35\text{ м}$ ; товщина стінки -  $\delta = 3,5\text{ мм}$ ; відстань між вертикальними заземлювачами  $a = 3\text{ м}$ ; глибина закладання заземлювачів -  $H_0 = 0,7\text{ м}$ ;  $B_C = 40\text{ мм}$ .

3. Грунт – глина; склад – однорідний; вологість - мала. Кліматична зона – III.

Розв'язок:

1. Визначаємо  $R_D$  – допустиме (нормативне значення опору розтікання струму в заземлюваному пристрої. Згідно з ПУЕ,  $R_D \leq 4 \text{ Ом}$ .

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір глини для III кліматичної зони:

$$\begin{aligned} r_{розр} &= r_{табл} \cdot K_c \\ r_{табл} &= 60 \text{ Ом} \cdot M \\ K_c &= 3,5 \\ r_{розр} &= 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ Ом} \cdot M \end{aligned} \quad (3.11.1)$$

3. Визначаємо  $H$  – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача

$$H = H_0 + \frac{l_B}{2} = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ м} \quad (3.11.2)$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$\begin{aligned} R_B &= 0,366 \cdot \frac{\rho_{розр}}{l_B} \left( \lg \frac{2 \cdot l_B}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot H + l_B}{4 \cdot H - l_B} \right); \\ R_B &= 0,366 \cdot \frac{90}{3} \left( \lg \frac{2 \cdot 3}{0,035} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right); \\ R_B &= 26,4 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (3.11.3)$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при  $\eta_\epsilon = 1$ :

$$\eta_{op} = \frac{R_B}{R_\partial \cdot \eta_B} = \frac{26,4}{4 \cdot 1} = 6,6; \quad (3.11.4)$$

Приймаємо  $\eta_{op} = 7$  шт.

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_B$ . Заземлювачі розташовані в ряд, приймаємо  $\eta_B = 0,7$ .

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з врахуванням коефіцієнта використання:

$$\eta_B = \eta_{op} / \eta_B = 7 / 0,7 = 9,9. \quad (3.11.5)$$

Приймаємо  $n = 10$  шт.

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при  $n = 10$  шт без врахування з'єднувальної стрічки:

$$R_{розр.в.} = \frac{R_B}{n \cdot \eta_B} = \frac{26,4}{10 \cdot 0,7} = 3,8 \text{ Ом} \quad (3.11.6)$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної стрічки:

$$L_c = 1,05 - a \cdot (n - 1) = 1,05 - 3 - 10 = 3,8 \text{ Ом.} \quad (3.11.7)$$

10. Визначаємо опір розтікання струму:

$$R_r = 0,366 \cdot \frac{90}{31,5} \cdot \lg \frac{2 \cdot (31,5)^2}{0,7 \cdot 0,04} = 5,48 \text{ Ом} \quad (3.11.8)$$

11. Приймаємо коефіцієнт використання вертикального заземлювача  $\eta_\Gamma = 0,56$ .

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з врахуванням  $\eta_\Gamma$ :

$$R_{розр.г.} = \frac{R_\Gamma}{\eta_\Gamma} = \frac{5,48}{0,56} = 9,8 \text{ Ом} \quad (3.11.9)$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{розр.} = \frac{R_{розр.в.} \cdot R_{розр.г.}}{R_{розр.в.} + R_{розр.г.}} = \frac{3,8 \cdot 9,8}{3,8 + 9,8} = 2,7 \text{ Ом.} \quad (3.11.10)$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

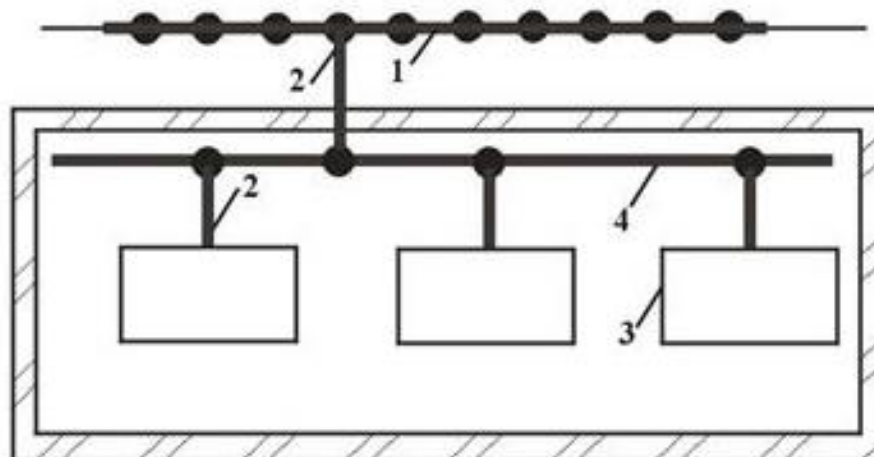
Виконано заземлення відповідно до ГОСТ 12.1.030 – 86.

14. Вибираємо матеріал та поперечний перетин з'єднувальних провідників і магістральної шини. Приймаємо сталеву шину товщиною  $\delta = 4 \text{ мм}$  і перетином  $100 \text{ мм}^2$ .

При заземленні:

$$I_{\text{лд}} = \frac{U_{\text{м}}}{R_{\text{лд}} + \frac{r}{3} + R_{\text{лд}} r / 3R_p} = \frac{220}{2000 + \frac{10000}{3} + \frac{2000 \cdot 10000}{3 \cdot 2,7}} = 0,001, \text{ А}$$

Схема з'єднування обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм наведена на рис. 3.5.



1 – заземлюючий пристрій, 2 – заземлюючі провідники; 3 – обладнання, що заземлюється, 4 – внутрішня магістраль заземлення.

Рисунок 3.5 - Схема захисного заземлення:

В даному випадку використовується електромагнітне блокування. Електромагнітне блокування дозволяє виключити можливість виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням, включення заземлюючих ножів на частину лінії під навантаженням, подачу навантаження на заземлену частину лінії. Виконується таке блокування за допомогою однакових по конструкції електромагнітних замків і одного електромагнітного ключа.

Забезпечення електробезпеки при експлуатації апаратів для даної лінії є дуже важливим чинником, знижує смертність та травматизм серед обслуговуючого персоналу в виробничих умовах.

### 3.11.3 Повітря робочої зони

Склад повітря робочої зони залежить від параметрів метеорологічних умов: температури, відносної вологості, а також кількості шкідливих речовин, що виділяються при роботі сушильної установки, а саме пил та волокна, ГДК = 30 мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 3.11.1 – Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт	Оптимальні			Фактичні		
		t, °C	W, %	V, (м/с)	t, °C	W, %	V, (м/с)
Теплий	Середньої важкості Пб	22-24	60-40	0,2	28-21	60	0,3-0,1
Холодний	Середньої важкості Пб	21-23	60-40	0,1	24-20	75	0,2

Параметри метеорологічних умов відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

Для безпосереднього відводу шкідливих речовин, від місця їх виникнення чи виділення, встановлюється вентиляційний ковпак закритого типу з фільтром продуктивністю 360 м<sup>3</sup>/год, після встановлення ковпака фактичні концентрації = 15 мг/г<sup>3</sup>. Що відповідає ГОСТ 12.1.005 – 88/99.

### 3.11.4 Радіаційне випромінювання

При виконанні робіт з пристроєм інфрачервоним випромінюванням та пірометром, необхідно дотримуватись вимог безпеки.

При роботі з випромінювачем забороняється спрямовувати випромінювання на займисті матеріали та поверхню тіла.



При роботі з пірометром забороняється спрямовувати лазерне націлювання в очі, так як це може призвести до погіршення чи втрати зору.

Для безпечної роботи необхідно:

- захисний одяг – костюм «Майстер» по ГОСТ 27575-87;
- для захисту обличчя призначенні захисні щитки- а саме захисні окуляри.

### **3.11.5 Вибухо-пожежна безпека у надзвичайні ситуації**

При температурі 250 °С можливе займання картону. Згідно ОНТП 24-86 приміщення для цієї апаратури відносять до категорії Б – пожежонебезпечні клас зони 22 (ПУЕ), відповідно до правил влаштування електроустановок. Відповідно до СНиП 2.01.02 -85, будівля відноситься до 1-ого ступеня вогнестійкості.

Можливими причинами пожежі можуть бути:

- порушення технологічного процесу;
- при роботі з дослідними матеріалами (вологий папір, картон чи інший волокнистий матеріал) потрібно слідкувати, щоб вони не зайнялися.
- паління в невстановленому місці;
- несправність електрообладнання та електропроводки;
- розряди статичної електрики.

В приміщенні встановлені димові сповіщувачі, які спрацьовують при появі диму, вибухозахищені, які включають автоматично аварійну вентиляцію при досягненні 20 % нижньої концентраційної межі вибуху. Продуктивність аварійної вентиляції не нижче >8К. Вентилятори у вибухозахищеному виконі із кольорових сплавів, щоб не було іскри.

Засобом захисту від статичної електрики є заземлення.

Першим засобом гасіння пожежі є вогнегасник, а також бочки з водою та ящики з піском.

Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою. Пожежний інструмент фарбується у чорний колір.

Бочки для зберігання води з метою пожежогасіння встановлюються у виробничому приміщенні. Такі бочки повинні бути укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8 л. Ящики для піску мають місткість 0,5; 1,0 або 3,0 м<sup>3</sup> та укомплектовані совковою лопатою.

Є необхідним використання первинних засобів пожежогасіння:

- вогнегасників «САМ-9» у кількості 3 штук. Закачний порошковий вогнегасник, для пожежного захисту об'єктів без участі людини для тушіння пожег: класів А, В та С згідно ГОСТ 27331-87. Установка може примінятися в якості автоматичного засобу пожеготушіння для захисту невеликих по об'єму проєктів;

- переносні вогнегасники «ОУ-3\*(ОУ-2)» - 2 штуки. Призначені для роботи при температурі від -20<sup>0</sup>С до +50<sup>0</sup>С і відносною вологістю не більше 95%. Вогнегасники призначені для тушіння пожег класу А,В,С згідно ГОСТ 27331-87. ;

- ящики для піску місткістю 1,0 або м<sup>3</sup>- 2 штук, місткістю укомплектованих совковою лопатою,

- пожежних гідрантів - 2 штук;

- протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна повинні мати розмір не менш як 2×1 м та 2×2 м;

- Апарти МПА. Призначені для захисту органів дихання і зору від впливу високотоксичного газового середовища при виконанні рятувальних і технічних робіт на об'єктах хімічних лабораторій та підприємств. Може бути використана при виконанні різних нетривалих робіт при огляді запірного устаткування. Має полегшену підвіску, що дозволяє застосовувати його як у положенні на спині, так і в положенні на поясі . Наявність візуального і

звукового контролю залишку повітря в балоні, а також надлишковий тиск під маскою підвищують безпеку використання апарата в аварійних умовах.

Протипожежна безпека формуючої та сушильної частини відповідає вимогам вогнестійкості II СНиП 2.01.02-85.

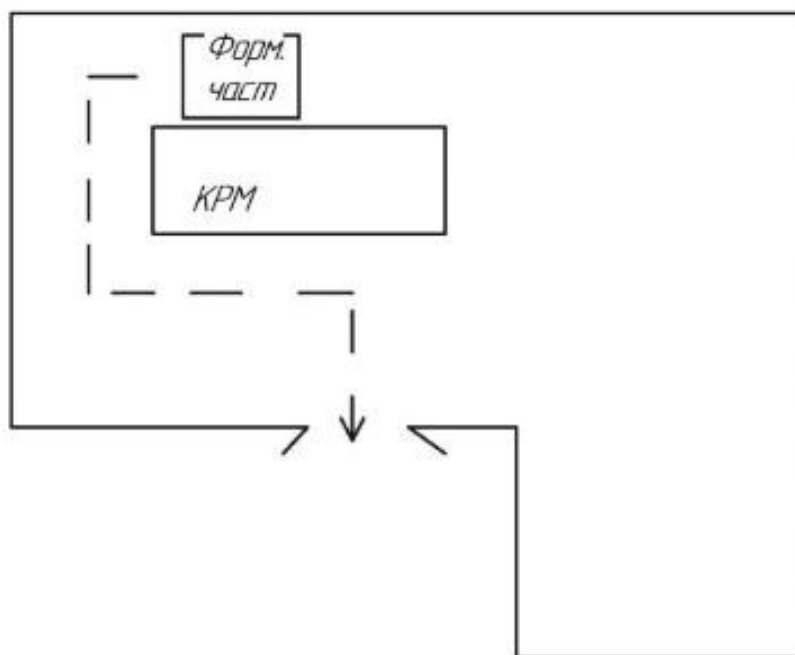


Рисунок 3.6 – План евакуації виробничого приміщення

Потрібно пам'ятати, що гасіння електропровідними речовинами електроприладів, що знаходяться під напругою, забороняється.

### 3.12 Висновки

Розроблено експериментальну установку для формування зразків картону, наповненого цеолітом, за допомогою якої зроблені дослідні зразки для подальшого дослідження процесу сушіння.

Налагоджено роботу існуючої установки з використанням інфрачервоного випромінювання.

Проведено експериментальні дослідження кінетики процесу сушіння картону із застосуванням інфрачервоного випромінювання.

Проведено узагальнення результатів експерименту. Знайдено кінетичні залежності, що описують процес сушіння картону із застосуванням ІЧ випромінювання.

Встановлено, що при збільшенні густини теплового потоку, температура поверхні картону збільшується, за рахунок чого перший період сушіння стає меншим.

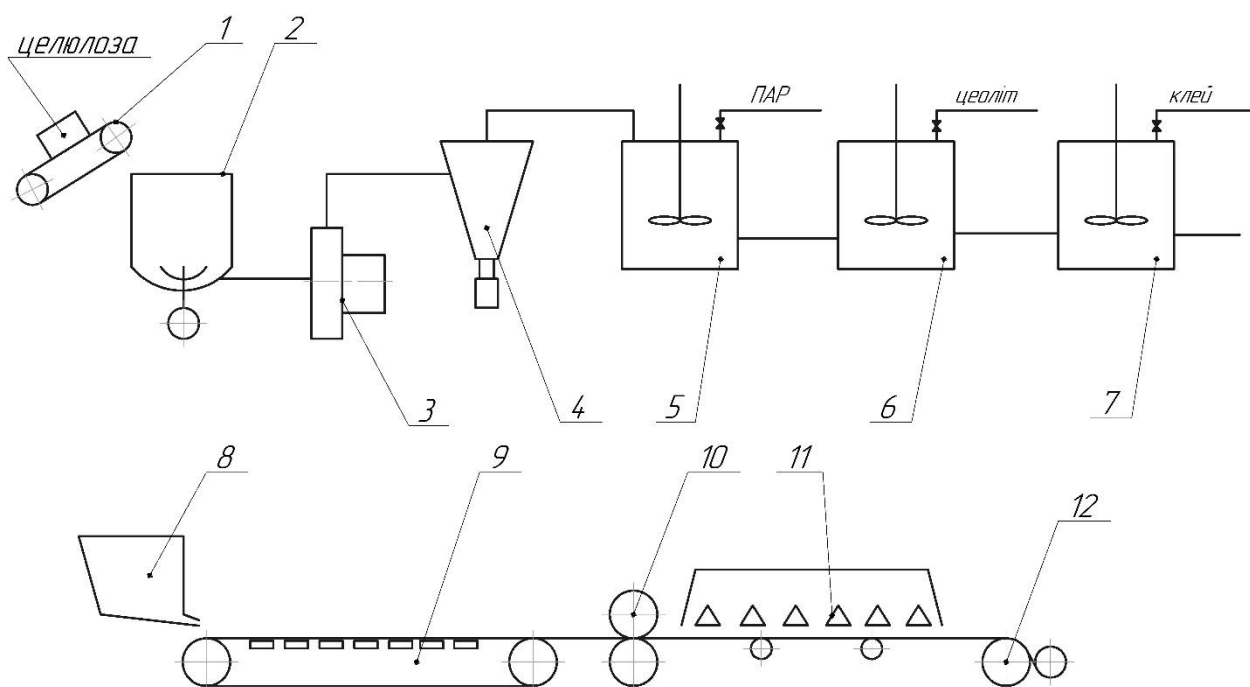
Розраховано похибки проведення експерименту.

Розроблено охорону праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

## 4. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КАРТОНУ, НАПОВНЕНОГО ЦЕОЛІТОМ

### 4.1 Схема виробництва картону наповненого цеолітом

Схема виробництва картону, наповненого цеолітом зображена на рисунку 4.1.



1 – транспортер; 2 – гідророзбивач; 3 – млин; 4 – очисник маси; 5, 6, 7 – мішалка; 8 -напускний пристрій; 9 – сіткова частина; 10 – пресова частина; 11 – сушильна частина; 12 – накат

Рисунок 4.1 - Схема виробництва картону, наповненого цеолітом

Целюлоза пачками подається транспортером 1 в гідророзбивач 2, де відбувається роздроблення целюлози та перетворення її в водну суспензію.

Далі з гідророзбивача суспензія для більш однакового розміру волокон надходить в млин 3, де розмелюється до 60 °ШР.

Після чого суспензія подається на очисник маси 4, з якого подається на перемішуючий пристрій 5, де встановлений дозатор та відбувається

подача поверхнево активних речовин. З мішалки 5 в мішалку 6 подається маса та додається мінеральний наповнювач цеоліт, ретельно перемішується та подається в мішалку 7. В мішалці 7, відбувається проклеювання маси та остаточне її перемішування.

Маса подається на напускний пристрій 8, який призначений для рівномірного і безперервного напуску маси на сіткову частину 9.

На сітці відбувається формування картонного полотна з картонної маси. За допомогою сітки приводяться в рух грудний вал і вся решта валів сіткового столу. При виконанні технологічних функцій сітка піддається інтенсивній механічній і хімічній дії, тому вона повинна мати достатню міцність на розрив, згин, стирання і бути кислототривкою.

Під сіткою послідовно розташовані гідропланки або реєстрові вали, відсмоктувальні ящики. Основне призначення цих елементів – формування картонного полотна за рахунок створення режиму обезводнення картонної маси на сітці необхідної інтенсивності, а також підтримка сітки від провисання між грудним і гауч-валом.

Після формування картонне полотно подається на пресову частину 10, де здійснюється її механічне зневоднення до сухості 40-45%.

Отриманий картон подається на сушильну частину 11, де відбувається остаточне зневоднення картонного полотна. Сушіння картону, наповненого цеолітом відбувається з використанням інфрачервоних випромінювачів, які розташовані з однієї сторони та їх кількість залежить від швидкості машини. Над випромінювачами встановлений ковпак, який регулює подачу та відведення повітря.

Висушене картонне полотно знімається з сітки та передається на накат 12.

## 4.2 Розрахунок виробництва картону

Мета – розрахунок пристрою для сушіння картону, наповненого цеолітом та необхідної кількості компонентів для виготовлення картону, наповненого цеолітом.

Вихідні дані:

продуктивність по висушеному картону $G$ , (кг/с)	0,152
кінцева сухість картону $S_K$ , %	95
маса квадратного метру картону $g$ , кг/м <sup>2</sup>	0,2
ширина картонного полотна $B$ , м	4,2
початкова температура картонного полотна $T_0$ , К	20
кінцева температура картонного полотна $T_K$ , К	160
теплова потужність випромінювача $q_d$ , Вт	800

Розрахунок необхідної кількості маси, що подається на формуючу частину:

$$g_{\text{ч}} = m \cdot S_K = 1000 \cdot 0,95 = 950$$

Розрахунок кількості целюлози, що подається на гідророзбивач:

$$m_{\text{ц}} = g_{\text{ч}} \cdot S_K = 950 \cdot 0,75 = 712,5$$

Розрахунок кількості цеоліту , що подається на мішалку 5 з рисунка 4.1:

$$m_{\text{цл}} = g_{\text{ч}} \cdot S_K = 950 \cdot 0,18 = 171$$

Розрахунок кількості клею, що подається на мішалку 6 з рисунка 4.1:

$$m_{\text{кл}} = g_{\text{ч}} \cdot S_K = 950 \cdot 0,06 = 57$$

Розрахунок кількості поверхнево активних речовин , що подається на мішалку 7 з рисунка 4.1:

$$m_{\text{пар}} = g_{\text{ч}} \cdot S_K = 950 \cdot 0,01 = 9,5$$

Розраховуємо швидкість картонного полотна:

$$V = \frac{G}{Bg} = \frac{0,152}{4,2 \cdot 0,2} = 0,18, \text{ м/с}$$

Час сушіння та необхідну густину картону, наповненого цеолітом визначають на основі розробленої математичної моделі процесу сушіння.

При початкових умовах:  $\tau_0 = 0 \text{ с}$ ;  $t_0 = 20^\circ \text{C}$ ;  $P_s = 2380 \text{ Па}$ ;

$$q_p = 5032 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \rightarrow \tau_c = 30 \text{ с};$$

Розраховуємо довжину пристрою для сушіння:

$$L = V \cdot \tau = 0,18 \cdot 50 = 9, \text{ м}$$

Розраховуємо теплове навантаження сушильної частини:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{G \cdot S_k}{\varphi} [(c_k + u_k \cdot c_b) \cdot (T_k - T_0) + (u_0 - u_k)r] \\ &= \frac{0,152 \cdot 0,95}{1} [(1,42 + 0,754 \cdot 4,19) \cdot (160 - 20) \\ &\quad + (0,754 - 0,679)2362] = 117,8 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Розраховуємо кількість випромінювачів на сушильній частині:

$$n = \frac{Q}{F} = \frac{117,8}{37,8} = 3,11 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$$

Висновок: Розраховано необхідну кількість компонентів для виготовлення картону, наповненого цеолітом та кількість випромінювачів необхідних для сушіння картону, наповненого цеолітом.

#### **4.3 Рекомендації щодо впровадження пристрою для сушіння з використанням інфрачервоного випромінювання**

В початковий період виходу нового картону на ринок виробництво картону, наповненого цеолітом, доцільно виробляти на машинах малої



продуктивності (500-1000кг/год). На таких машинах повний цикл сушіння перспективно здійснювати на пристроях для сушіння з використанням інфрачервоного випромінювання.

На папероробних машинах продуктивністю більше 1000 кг/год доцільно використовувати пристрій інфрачервоного випромінювання для швидкого нагрівання і сушіння картону в першому періоді процесу сушіння.

#### **4.4 Висновки**

На основі результатів дослідження розроблено алгоритм і блок схему розрахунку (Додаток Є) промислового пристрою з інфрачервоним випромінюванням для сушіння картону, наповненого цеолітом. Розраховано кількість випромінювачів на 1 м<sup>2</sup> картонного полотна на сушильній частині.

Зроблено рекомендації до впровадження пристрою для сушіння картону, наповненого цеолітом з використанням інфрачервоного випромінювання.

## 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1. Опис ідеї проекту

На сьогоднішній день великий попит на ринку України здобув картон для пакування.

Основною сировиною для його виробництва є целюлоза. Для підвищення механічних властивостей (міцності) в масу добавляють речовини, які взаємодіють з волокном і створюють нові додаткові зв'язки. Тому в якості наповнювача, даного виду картону, використано цеоліт, який зменшує гігроскопічність картону.

Виходячи з потреб людства створено пакування, що дозволяє підтримувати постійну вологість та уповільнює розвиток мікрофлори, виділяючи азот.

Властивістю мінерального наповнювача цеоліту є те, що він хороший сорбенти та не несе ніякого негативного впливу на організм людини.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5. 1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Новий картон для пакування	Виготовлення пакування для зберігання харчових продуктів	
		Екологічно чисте пакування

Даний картон для пакування можливо використовувати при перевезенні харчових продуктів на далеку відстань, також картон поглинає продукти дихання зелені та подовжує термін її зберігання вдвічі. Добре підходить для зберігання харчових продуктів з високим вмістом жиру, адже

цеоліти поглинають альдегіди, продукти окиснення жирів. Дане пакування не потребує спеціальної утилізації.

**Проведено** аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- створено унікальний вид картону;
- експериментально досліджено процес сушіння даного картону, та створено обладнання для сушіння;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (таблиці 5.2).

■

Таблиця 5.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
Вартість картону	8000	9000	9500	10500	-	-	+
Швидкість виготовлення	1,5	1	1	1	+	-	-
Витрата компонентів (наповнювач)	1000	3000	1500	2000	-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Порівняння зразків пакувального картону зображений на рисунку 5.1.



1- дослідний зразок пакувального картону;

2-виробничий зразок картону

Рисунок 5.1 – Порівняння зразків пакувального картону

В межах даного підрозділу проведено аудит технології [37], за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Шлях виготовлення картону	Картон отримують із целюлози та мінерального наповнювача	Дані технології не існують. В розробці їх є необхідності.	Дані технології знаходяться в закритому доступі.
2	Шлях виготовлення картону	Картон отримують із макулатури та мінерального наповнювача	Дані технології існують. В доробці їх немає необхідності.	Так, дані технології доступні.

Обрана технологія реалізації ідеї проекту:  
 1 – Отримання картону із целюлози та мінерального наповнювача.

За результатами аналізу видно, що можливості технологічної реалізації проекту, а також технологічного шляху, яким це доцільно зробити – є можливим.

### 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів [39].

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	3
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	11000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ на картон для пакування
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	78

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в екологічно чистому пакуванні (Суспільство змінюється в напрямку соціально-відповідально го та здорового засобу життя. Стає модним споживати продукцію, що не має екодеструктив ного впливу та є безпечною для людини.)	Оператори ринку харчових продуктів (виробник, продавець (постачальни к), який здійснює діяльність щодо виробництва, транспортува ння, зберігання та реалізації харчових продуктів).	Необхідність відповідності продукції, що виготовляється/використо вується нашою цільовою аудиторією у процесах виробництва їх товарів і послуг, ДСТУ, ГОСТ на картон для пакування виокремлює саме нашу цільову аудиторію	- до продукції: Якість (при виготовлен ні пакування використан і лише якісні іноземні матеріали - целюлоза), міцність та екологічніс ть - до компанії-постачальн ика: якість постачання, швидкість, доступність .

Проводимо аналіз ринкового середовища [39]: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці №№ 5.5-5.6). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 5.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Природні: - Кліматичні (Вимирання лісів під дією клімату)	Ресурс з якого виготовляються картон, використається весь	Переведення на інший матеріал
Економічні - Закупівля целюлози за кордоном	Ресурс з якого виготовляються картон, змінить ціну	Підвищення/пониження ціни на продукт
Політико-правові -Політичні конфлікти між країнами	Може вплинути на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для виготовлення товару	Зміна напрямків імпорту/експорту

Таблиця 5.7 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Демографічні -Приріст населення	Збільшується населення – збільшується потреба в пакуванні	Збільшить виробництво товару
Науково-технічні -Науково- технічний прогрес	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
Соціально- культурні	Не впливають	Не впливають

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції : Монополістична конкуренція	Є безліч компаній, що випускають різноманітну продукцію і що конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Товар кожного виробника відрізняється якимись особливостями.	Створення продукції під замовлення.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна	Створення чогось нового	Створення унікального виду картону
3. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузев а	Конкуренція за більш вигідні умови виробництва	Удосконалення структури виробництва відповідно до потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	В створенні товару різних видів (марок, товщини)	Створення товару під замовлення.
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат на її компоненти).



6.3а інтенсивністю:  Марочна	Випуск товару з маркуванням	Підвищення попиту за рахунок марки, з врахуванням екологічності
---------------------------------------	--------------------------------	---

#### 5.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера [37], таблиця 5.9).

Таблиця 5.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки :	Фірми, що виготовляють схожу продукцію	Можливості в ходженні в ринок є, оскільки завод виробник уже знаходиться на ринку	Постачальники лише постачають продукцію, транспортування продукції відбувається своїми силами	Можливо два варіанти, ми диктуємо умови роботи або клієнти (але нашою головною метою є створення різних видів картону під замовлення)	Ми маємо конкурентну перевагу – це низька ціна, та екологічно чиста продукція

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 5.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.1 та 5.3), вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.4 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Екологічно чиста продукція	Новий картон для пакування, вважається екологічно чистим, оскільки в його виготовленні використано целюлозу та натуральний мінеральний наповнювач
Якість	Виготовлення продукції, яка відповідає нормам та стандартам, та не шкодить здоров'ю людини.
Низька ціна (за рахунок зменшення енерговитрат)	Так як енергії на сушіння витрачається менше, ціна на товар також менша
Виготовлення продукції різних видів	Виготовлення продукції під замовлення.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Таблиця 5.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «New Technology»

№	Фактори конкурентоспроможності	Бали
1.	Екологічно чиста продукція	20
2.	Якість	20
3.	Низька ціна	18
4.	Виготовлення продукції різних видів	18

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу [37] (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 5.52 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <p>0. Унікальність</p> <p>1. Енергоефективність</p> <p>2. Якість</p>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <p>1. Ресурсозалежність</p> <p>2. Конкурентність</p> <p>3. Невідомість</p>
<p><b>Можливості:</b></p> <p>1. Демографічні - приріст населення</p> <p>2. Науково-технічні – науково-технічний прогрес</p> <p>3. Соціально-культурні</p>	<p><b>Загрози:</b></p> <p>1. Природні - кліматичні</p> <p>2. Економічні - закупівля целюлози за кордоном</p> <p>3. Політико-правові - політичні відносини між країнами</p>

	Можливості			Загрози		
Сильні сторони	-	+	-	+	-	+
	+	+	-	+	-	-
	+	+	-	-	-	+
Слабкі сторони	+	-	-	+	+	-
	-	+	-	-	+	-
	-	-	+	-	-	-

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 5.13).

Таблиця 5.63 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
<b>Загарбник</b>	Значні	Максимум рік
<b>Наступник</b>	Суттєві	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу **Загарбник**.

## 5.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 5.14).

Таблиця 5.7 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Оператори ринку харчових продуктів (виробник, продавець)	Додаткові витрати пов'язані з впровадженням результатів	Залежатиме від рівня та від темпу розвитку економіки	Низька	Високі бар'єри входу на ринок

(постачальник), який здійснює діяльність щодо виробництва, транспортування, зберігання та реалізації харчових продуктів).	наукових досліджень в господарській діяльності.	взагалі і галузей-споживачів зокрема, а також рівня характеру конкурентів з боку держави		
---	---	--	--	--

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо операторів ринку харчових продуктів (виробник, продавець (постачальник), який здійснює діяльність щодо виробництва, транспортування, зберігання та реалізації харчових продуктів), і використовуємо стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (таблиця 5.15).

Таблиця 5.8 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
Загарбник	Ексклюзивний розподіл	Суттєва (наслідування дій лідера, захисні дії)	Диференційований маркетинг

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця. 5.16).

Таблиця 5.9 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 5.15) та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 5.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.10 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
- до продукції: якість, міцність та екологічність - до компанії-постачальника: якість постачання, швидкість, доступність.	Диференційованого маркетинг	Буде утворено унікальну продукцію	Виробництво асортименту

## 5.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування *маркетингової концепції товару*, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.18 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18.- Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Потреба в екологічно чистому пакуванні	Новий пакувальний матеріал, що не несе негативного впливу на здоров'я людини, та вважається екологічно чистим	Швидкість, ціна, підтримання потрібних характеристик

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 5.11. - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Створення екологічно чистого картону для пакування з продовженням терміну зберігання харчових продуктів з дотриманням всіх ГОСТів та ДСТУ.
II Товар у реальному виконанні	Виготовлення картону з продовженим терміном зберігання харчових продуктів. Дотримання стандартів та норм. Маркування виготовленого пакування.
III. Товар із підкріпленням	Створення різних видів картону

Даний новий вид картону захищено патентом України на корисну модель №124545 від 10.04.2018.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.12 - Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Відповідно до композиційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 40-95 грн/кг	Відповідно до композиційного складу, ціна на виготовлення варіюється від 30-80 грн/кг	Промисловий ринок залежить від замовлення товару	Ціна на товари нижча ніж в конкурентів

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 5. 21).

Таблиця 5.13 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля оптом	Якість товару, потрібні характеристики,	Досить глибока	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту)



Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 5.22).

Таблиця 5.14 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування
Орієнтована на використання вузькоспеціальної комунікації, що визначається особливістю галузевих приналежностей	Інтернет, вистаки, семінари, друкована продукція	Спеціалізовані виставки

Результатом пункту 5.5 створено ринкову програму, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

## 5.7. Висновки

В процесі розробки стартап проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою. Спроможність стартап проекту дозволяє стверджувати про перспективи створення та розвитку стартапу.

## ВИСНОВКИ

1. На основі результатів аналізу літературних джерел і патентних матеріалів сформульовано мету і задачі дослідження процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, із застосуванням інфрачервоного випромінювання.
2. Обґрунтована фізична модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом.
3. Розроблено та розв'язано математичну модель процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, із застосуванням інфрачервоного випромінювання.
4. На основі результатів інтегрування математичної моделі отримані теоретичні графічні кінетичні закономірності залежності процесу сушіння.
5. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень, формування дослідних зразків картону, наповненого цеолітом.
6. Розроблено лабораторну установку формування зразків картону, наповненого цеолітом для експериментальних досліджень кінетики сушіння картону.
7. Отримано математичну залежність сорбційної ємності картону, наповненого цеолітом, від вмісту його компонентів. Перевірено рівняння регресії на адекватність та визначені похибки результатів експерименту формування зразків.
8. Вдосконалено та підготовлено до роботи експериментальну установку.
9. Вперше експериментально отримані кінетичні закономірності процесу сушіння картону, наповненого цеолітом, та проведено їх науковий аналіз.
10. Вперше показано вплив густини теплового потоку на швидкість і час сушіння.
11. Вперше отримані основні параметри процесу сушіння використані в створенні алгоритму розрахунку промислового пристрою для сушіння.
12. Розроблено стартап-проект.

13. Магістерська дисертація виконана згідно наукового плану кафедри МАХНВ. По темі дисертації було опубліковано 2 статті у фахових виданнях, 4 тез доповідей на міжнародних конференціях, отримано патент України №124545 від 10.04.2018 р.

## ВЫВОДЫ

1. На основе результатов анализа литературных источников и патентных материалов сформулированы цель и задачи исследования процесса сушки картона, наполненного цеолитом, с применением инфракрасного излучения.

2. Обоснована физическая модель процесса сушки картона, наполненного цеолитом.

3. Разработана и решена математическая модель процесса сушки картона, наполненного цеолитом, с применением инфракрасного излучения.

4. На основе результатов интегрирования математической модели полученные теоретические графические кинетические закономерности зависимости процесса сушки.

5. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, формирование опытных образцов картона, наполненного цеолитом.

6. Разработан лабораторную установку формирования образцов картона, наполненного цеолитом для экспериментальных исследований кинетики сушки картона.

7. Получена математическая зависимость сорбционной емкости картона, наполненного цеолитом, от содержания его компонентов. Проверено уравнения регрессии на адекватность и определенные погрешности результатов эксперимента формирования образцов.

8. Усовершенствована и подготовлено к работе экспериментальную установку.

9. Впервые экспериментально полученные кинетические закономерности процесса сушки картона, наполненного цеолитом, и проведено их анализ.

10. Впервые показано влияние плотности теплового потока на скорость и время сушки.

11. Впервые получены основные параметры процесса сушки использованы в создании алгоритма расчета промышленного устройства для сушки.

12. Разработаны стартап-проект.

13. Магистерская диссертация выполнена согласно научного плана кафедры МАХНВ. По теме диссертации было опубликовано 2 статьи в профессиональных изданиях, 4 тезисов докладов на международных конференциях, получен патент Украины №124545 от 10.04.2018 г..

## CONCLUSIONS

1. On the basis of the analysis of the literature and patent materials formulated goals and tasks of the research process drying cardboard filled with zeolite, using infrared radiation.

2. The physical model of the drying process of zeolite filled paper is grounded.

3. A mathematical model of drying process of zeolite-filled cardboard with the use of infrared radiation was developed and solved.

4. Based on the results of the integration of the mathematical model, the theoretical graphic kinetic regularities of the dependence of the drying process are obtained.

5. The method of carrying out of experimental researches, formation of prototype samples of cardboard filled with zeolite has been developed.

6. A laboratory plant for forming samples of cardboard filled with zeolite for experimental studies of cardboard drying kinetics has been developed.

7. The mathematical dependence of the sorption capacitance of zeolite-filled cardboard, on the content of its components is obtained. The regression equation for adequacy was checked and the errors of the experimental design of the samples were determined.

8. Improved and prepared for experimental installation.

9. Kinetic regularities of the process of drying cardboard filled with zeolite were first obtained experimentally, and their scientific analysis was carried out.

10. The influence of the heat flux density on the speed and drying time is shown for the first time.

11. For the first time the basic parameters of the drying process were used in the generated algorithm for calculating an industrial drying device.

12. A startup project has been developed.

13. Master's dissertation is executed according to the scientific plan of the department of MAHNV. By Theme dissertation published two articles in professional journals, 4 abstracts at international conferences, received a patent Ukraine №124545 from 10.04.2018 p.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марчевський В.М. / Картон з новим мінеральним наповнювачем/ Марчевський В.М., Телестакова В.В.// Науковий журнал «Молодий вчений» № 2 (54) лютий 2018.
2. Бондаренко Є.В. Світовий огляд пакувальних матеріалів для харчових продуктів на основі цеолітів, Київ – 2010р.
3. Евсеев М.М. Повышение механической прочности макулатурной бумаги для горирования добавки минеральных пигментов / Автореферат - Красноярск -2014.
4. <http://dekyputu.blogspot.com/2012/09/where-to-buy-zeolite-use-of-zeolites.html>
5. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т.Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. — СПб.: Политехника, 2005.— 423 с.
6. Pat. 4900583 US, Cl.<sup>6</sup> B 05 D 3/06. Method of producing cast coated paper using near-infrared radiation / Tetsuya Hirabayashi, Mikio Takahashi, Kanzaki Paper Mfg. Co. (JP). – appl. №183659; filled 19.04.88; date of patent 13.12.90.
7. Pat. US 6780284 B2, Int. Cl<sup>7</sup>.G01N 21/86; G01N 21/35;D21F 7/00. Method and apparatus for controlling moisture profile of moving paper web/ Jari Almi (FI), Raimo, Korhonen (FI); Matti Kukkurainen (FI); Markku Mäntylä (FI). Publication date 24.09.2004.
8. Pat. US6857368 B2, Int. Cl<sup>7</sup>. B41L 35/00. Device and method for supplying radiant energy onto a printing substrate in a planographic printing press/ Heiner Pitz (DE). Publication date 22/02/2005
9. Pat. US2016/0090691 A1 Modular sensing system for web-bases applications/ Cristian Andronic (CA). Publication date 31/03/2016.



10. Pat. № 5496406 (US), Int. Cl.6 B05B 1/24. Coating device having infrared and suspension drying sections / Rudolf Beisswanger (GE); applicant J. M. Voith GmbH,(GE). – 862194; application date 02.04.2002; publication date 27.07.2003.

11. Пат. № 100580 Україна, МПК (2015.01) D 21 F 5/00. Пристрій для сушіння паперового чи іншого волокнистого полотна / Новохат О. А., Татарчук О. О. – заявл. 23.03.2015; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.

12. Pat. US5632101. All top-feiled single-tier drying section with post drying section curt control/ Markus Oechsle (GE) / Publication date 27/05/1997.

13. Pat. № 5666744 (US), Int. Cl.<sup>6</sup> F26B 3/34. Infrared paper drying machine and method for drying a paper web in an infrared paper drying machine / Benjamin A. Thorp (US) applicant James river corporation of Virginia (US). – 552123; application date 02.11.1995; publication date 16.09.1997.

14. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков – М., Энергия, 1968. – 472 с.

15. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон\\_Стефана\\_—\\_Больцмана](https://uk.wikipedia.org/wiki/Закон_Стефана_—_Больцмана)

16. Перри Д.Г. Справочник инженера-химика. Т 1. – Л. : Химия, 1969. – 504 с.

17. Kuang H.-De Study of heat and mass transfer during IR drying of paper / H.-De Kuang, J. Thibault, B. P. A. Grandjean, R. Chen // Drying Technology: An International Journal. – 1994. – Vol. 12. – № 3. – P. 545-575.

18. Seyed-Yagoobi J. Drying of uncoated paper with gas-fired infrared emitters—optimum emitters' location within a paper machine drying section / J. Seyed-Yagoobi, H. Noboa // Drying Technology: An International Journal. – 2003. – Vol. 21. – № 10. – P. 1897-1908.

19. Seyed-Yagoobi J. Heating/drying of uncoated paper with gas-fired and electric infrared emitters – fundamental understanding / J. Seyed-Yagoobi, H. Noboa // Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying

Symposium (IDS 2004) (São Paulo, Brazil, 22-25 August 2004). – Vol. B. – P. 1217-1224.

20. Dryingtechnology, 12th International Drying Symposium IDS2000 (Netherland, 28-31 august 2000): J. Seyed-Yagoobi, S.J. Sikirica, and K.M. Counts. Heating/drying of paper sheet with gas-fired infrared emitters – pilot machine trials. Paper No.319.

21. Dryingtechnology, 12th International Drying Symposium IDS2000 (Netherland, 28-31 august 2000): Jamal Seyed-Yagoobi and Jefferson W. Wirtz. An Experimental Study of Gas-Fired Infrared Drying of Paper. Paper No.364.

22. Dryingtechnology, 14th International Drying Symposium IDS2004 (Brazil, 22-25 august 2004): J. Seyed-Yagoobi and H. Noboa. Heating/drying of uncoated paper with gas-fired infrared emitters – fundamental understanding. pp. 1217-1224.

23. Marchevsky V. Kinetics of corrugated board flute drying with the use of infrared radiation / V. Marchevsky, O. Novokhat // The Advanced Science Journal. – Vol. 2015. -- №6. – P. 69-72.

24. Дешко В. І. Математичне моделювання та експериментальні дослідження складного теплообміну при рості кристалів: монографія / В. І. Дешко, А. Я. Карвацький, Ю. В. Лохманець, О. М. Кудін, О. В. Колесніков; НАН України, Ін-т сцинтиляц. матеріалів. - Харків : ІСМА, 2012. — 247 с.

25. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл ; пер. с англ. ; под ред. Б. А. Хрусталева. — М. : Мир, 1975. — 934 с.

26. Оцисик М. Н. Сложный теплообмен / М. Н. Оцисик ; пер. с англ. ; под ред. Н. А. Анфимова. — М. : Мир, 1976. — 616 с.

27. Сергеев О. А. Теплофизические свойства полупрозрачных материалов / О. А. Сергеев, А. А. Мень. — Изд-во стандартов, 1977. — 288 с.

28. Карвацький А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 391 с.: іл. – Бібліогр.: с. 385–387. – Режим доступу до журн.:

<http://cpsm.kpi.ua/publikatsiji/knigi/957-metod-skinchennikh-elementiv-u-zadachakh-mekhaniki-sutsilnikh-seredovishch-programna-realizatsiya-ta-vizualizatsiya-rezultativ.html>

29. Карвацький А. Я. Моделювання енергозберігаючих регламентів промислового обладнання: навч. посіб. — К.: НТУУ «КПІ», 2014. — 234 с.

30. Самарский А. А. Разностные методы решения задач газовой динамики / А. А. Самарский, Ю. П. Попов. — М. : Наука, 1980. — 352 с.

31. ГОСТ ИСО 1924-1 - Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью.

32. ГОСТ 10711 - Бумага и картон. Метод определения разрушающего усилия при сжатии кольца (RCT)

33. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень / Пилипчук М.І., Григор'єв А.С., Шостак В.В.: Підручник – К.: Знання, 2007 – 270с.

34. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов // А.А. Спиридонов. - М.: Машиностроение, 1981-184с.

35. ГОСТ 9571-89 - Целлюлоза сульфатная белая из хвойной древесины. Технические условия.

36. ГОСТ 13525.1- ГОСТ 13525.1-79 Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении (с Изменениями N 1, 2)

37. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів

інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

38. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

39. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Междисциплинарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

## Додаток А

### Методика числового розв'язання математичної моделі

Для числового розв'язання сформульованої задачі (2.3)–(2.13) за математичної моделі скористаємося методом скінченних різниць (МСР) [28],[29],[30]. Для цього спочатку виконаємо дискретизацію розрахункової області з використанням рівномірного поділу товщини картону на елементарні шари (рисунок А.1):

$$z = h(i-1), i = \overline{1, n}, \quad (A.1)$$

де  $h = \frac{\delta_f}{n-1}$  - товщина одного шару;  $n$  – кількість вузлів.

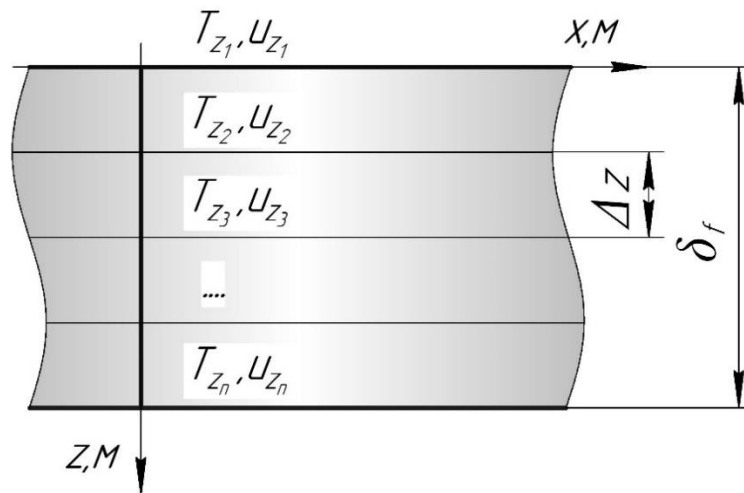


Рисунок А.1– Схема поділу товщини картону на елементарні шари

Для отримання скінченно-різницевих аналогів вихідних диференціальних рівнянь (2.5) використовується абсолютно стійка чисто неявна триточкова схема з першим порядком апроксимації за часом і другим за координатою [29]. Оскільки система (2.5) для визначення температури та відносного вологовмісту є нелінійна, то для розв'язання використовується лінеризація за методом Ньютона за температурою.

Розподіл температури на кожному кроці інтегрування за часом визначається за формулою:

$$T_i^{k+1} = T_i^k + \delta T_i^{k+1}, i = 2, n-1, \quad (\text{A.2})$$

де  $k$  – номер ітерації на кожному кроці інтегрування за часом.

Вектор неув'язки:

$$\delta T_i^{k+1} = \delta \tau \cdot W_{T_i}^k, i = \overline{1, n} \quad (\text{A.3})$$

Швидкість зміни температури, з рівняння (2.5):

$$W_{T_i}^k = a(\hat{T}_i) \frac{\hat{T}_{i+1} - 2\hat{T}_i + \hat{T}_{i-1}}{h^2} + \frac{\varepsilon_{pr}(K_{a-v})}{c_{p \text{ eff}}(T_i) \rho_{\text{eff}}(T_i)} \sigma(T_{\text{IR}}^4 - \hat{T}_1^4) K e^{-Kz_i} - q_{vi}, i = \overline{2, n-1}, \quad (\text{A.4})$$

де  $q_v$  – джерельний член, пов'язаний з кінетикою випаровування та транспорту вологи в пористому матеріалі – картону, К/с.

$$q_v = \frac{\rho_f(T)r}{\rho_{\text{eff}}(T)c_{p \text{ eff}}(T)} \frac{du}{d\tau} \quad (\text{A.5})$$

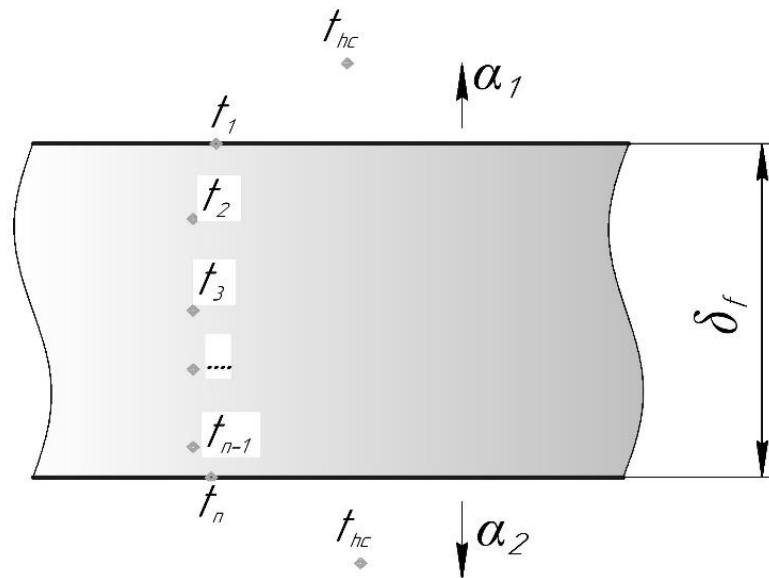


Рисунок А.2 – Розподіл температури в об'ємі картону

На верхній стороні шару картону згідно заданих граничних умов III роду, рівняння (2.12), отримаємо:

$$T_{i=1}^{k+1} = \frac{\left( \frac{\lambda_{1-2}}{h} t_2 + \alpha_1 t_{hc} \right)}{\left( \frac{\lambda_{1-2}}{h} + \alpha_1 \right)} \quad (\text{A.6})$$

На нижній стороні шару картону згідно заданих граничних умов III роду, рівняння (2.13), отримаємо:

$$T_{i=n}^{k+1} = \frac{\left( \frac{\lambda_{n-1-n}}{h} t_{n-1} + \alpha_2 t_{hc} \right)}{\left( \frac{\lambda_{n-1-n}}{h} + \alpha_2 \right)} \quad (\text{A.7})$$

Розподіл відносної вологості на кожному кроці інтегрування за часом визначається за формулою:

$$u_i^{k+1} = u_i^k + \delta u_i^{k+1}, \quad i = 1, n, \quad (\text{A.8})$$

де  $k$  – номер ітерації на кожному кроці інтегрування за часом.

Вектор неув'язки:

$$\delta u_i^{k+1} = \delta \tau \cdot W_{u_i}^k, \quad i = \overline{1, n} \quad (\text{A.9})$$

де  $\delta \tau = \tau^{k+1} - \tau^k = \frac{1}{2} \frac{h^2}{a_i}$  - умова стійкості.

Швидкість сушіння з рівняння (2.5):

$$W_{u_i}^k = \frac{u_i^k - u_i^{k-1}}{\tau^k - \tau^{k-1}} = \frac{\beta}{g} \left[ p_n(T_{z=0}^+) - p_n(T_{z=0}^-) \right] + k(u - u_p) \quad (\text{A.10})$$

Умова закінчення ітераційного процесу на кожному кроці інтегрування за часом має вигляд:

$$\begin{aligned} |\delta T_i^k| &< \varepsilon_T, \quad i = 1, n \\ |\delta u_i^k| &< \varepsilon_u, \quad i = 1, n \end{aligned} \quad (\text{A.11})$$

де  $\varepsilon_T$  – похибка вимірювання температури, К;  $\varepsilon_u$  – похибка вимірювання температури, К.

Розроблено алгоритм розрахунку процесу сушіння картону із застосуванням енергії інфрачервоного випромінювання, описаний нижче за текстом. Схема алгоритму показана на рисунку А.3.

Кінцева мета розрахунку: час сушіння та вологовміст (вказуються обмеження по допустимій температурі).

Вхідними даними для розрахунку є:

- спосіб сушіння (радіаційний, радіаційно-конвективний, радіаційно-кондуктивний, поєднання радіаційного, конвективного та кондуктивного);
- умови теплообміну картону з навколишнім середовищем (вільна або вимушена конвекція);
- параметри картону (початкова температура на вході в сушильну частину, маса квадратного метру, товщина (початкова координата по товщині), теплофізичні властивості, початковий вологовміст, перший критичний вологовміст, рівноважний вологовміст, теплоємність абсолютно сухого картону, теплопровідність картонупитома теплоємність цеоліту);
- параметри КРМ або ІЧ випромінювача (продуктивність, ширина полотна картону, конструктивне обмеження довжини зони сушіння, коефіцієнт поглинання, температура випромінювача);
- крок розрахунку по товщині картону;





Крім того, якщо наявна кондуктивна складова підводу теплоти, то вказується густина теплового потоку від сушильних циліндрів до картону.

Ці дані вводяться у блоці 2.

У блоці 3 знаходиться максимальна температуропровідність.. Початковий момент часу задається рівним 0 с.

В блоці 4 відбувається рівномірний розподіл товщини картону на елементарні шари та визначення товщини одного шару.

В блоці 5 задаємось початковими умовами на поверхні картону.

В блоках 6-7 розраховуються теплофізичні значення властивостей вологого картону в зоні сушіння у вузлових точках.

В блоці 8 розраховується тепловий потік із закону Стефана - Больцмана.

В блоці 9 проводиться розрахунок розподілу теплового потоку по товщині картону на основі рівняння Бугера та розрахунок теплового потоку із закону Стефана-Больцмана. Поточні визначення температури та вологовмісту у вузлових точках.

В блоках 10-11 або 10-12 відбувається визначення критеріального рівняння, що описує теплообмін поверхні картону з навколишнім середовищем в залежності від типу конвекції.

Коефіцієнти тепловіддачі випромінювання та конвекції розраховуються в блоці 13.

В блоці 14 проводиться розрахунок зони дії інфрачервоного випромінювача на картон. Умова з блоку 14 визначає, чи досягла довжина зони сушіння або поточний вологовміст необхідного значення, вказаних у вихідних даних. При досягненні необхідних значень розрахунок переходить на вивід даних та кінець в блоках 22 та 23.

В блоці 16 середнє поточне значення вологовмісту порівнюється з першим критичним. При сушінні в першому періоді (вологовміст більший критичного) подальший розрахунок коефіцієнту вологообміну ведеться в

блоці 17 в іншому випадку (другий період сушіння, вологовміст менший критичного) – в блоці 21.

Якщо поточний вологовміст менше критичного його порівнюють із заданим в блоці 22. Якщо вологовміст досягнув кінцевого можливого значення, то розрахунок закінчується, виводяться значення поточного часу сушіння, вологовмісту та довжини зони сушіння (блоки 23, 24). В іншому випадку (поточний вологовміст більший рівноважного), а також при розрахунку в блоці 17, програма переходить в блок 18.

Блок 18 розраховує за формулами з системи рівнянь (2.3) поточні значення температури та вологовмісту у вузлових точках по товщині картону. Потім в блоках 19-20 відбувається переіндексація значень температури та вологовмісту у вузлових точках картону за часом, і розрахунок повертається до блоку 5.

Умовою закінчення розрахунку є досягнення заданого вологовмісту або заданого часу сушіння картону із застосуванням енергії ІЧВ.

## Додаток Б

### Розрахунок і оцінка коефіцієнтів рівняння регресії.

Наведене рівняння регресії для трьохфакторного експерименту:

$$y_p = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 \quad (\text{Б.1})$$

де  $y_p$  – сорбційна ємність дослідного зразка;  $x_1$  – вміст цеоліту;  $x_2$  – вміст клею;  $x_3$  – вміст поверхнево активних речовин;  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коефіцієнти.

Спочатку визначається вільний член рівняння за формулою:

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i; \quad (\text{Б.2})$$

де  $\bar{y}_i$  – середнє арифметичне значення параметра оцінки кожного дослідю.

Коефіцієнти інших членів рівняння (Б.1):

- Коефіцієнт біля кожного фактора:

$$a_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \bar{y}_i; \quad (\text{Б.3})$$

- Коефіцієнт біля взаємодії факторів:

$$a_{il} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{lj} y_j. \quad (\text{Б.4})$$

Числові значення розрахункових коефіцієнтів рівняння регресії показують величину впливу того чи іншого фактора на вхідний параметр.

Розрахунок розроблено в програмі Microsoft Excel.

Таблиця Б.1 – Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії.

$a_0=$	$a_1=$	$a_2=$	$a_3=$
2,3575	0,0452	-0,01427	0,009504
$a_{12}=$	$a_{13}=$	$a_{23}=$	
0,0452	-0,01427	0,009504	

Таблиця Б.2 - Матриця трьохфакторного експерименту.

Номер досліду	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	1	1	1
2	1	1	-1
3	1	-1	1
4	1	-1	-1
5	-1	1	1
6	-1	1	-1
7	-1	-1	1
8	-1	-1	-1
9	0	0	0
10	1	0	0
11	-1	0	0
12	0	1	0
13	0	-1	0
14	0	0	1
15	0	0	-1

Результати розрахунку занесені до таблиці Б.3.

Таблиця Б.3 – Розрахунок рівняння регресії  $y_p$ .

Номер досліду	Дослідне значення, $y_{оп}$	Розрахункове рівняння регресії, $y_p$	Різниця, $y_{оп}-y_p$	$y_{оп}-y_p/y_{оп}$
1	2,414	2,4383	-0,0243	-0,01008
2	2,3938	2,4193	-0,0255	-0,01067
3	2,436	2,4669	-0,0309	-0,01268
4	2,329	2,4479	-0,1189	-0,05104
5	2,198	2,3480	-0,1500	-0,06823
6	2,197	2,3290	-0,1320	-0,06007
7	2,344	2,3765	-0,0325	-0,01387
8	2,343	2,3575	-0,0145	-0,00619
9	2,4265	2,397927	0,0286	0,011776
10	2,4269	2,443111	-0,0162	-0,00668
11	2,23994	2,352743	-0,1128	-0,05036
12	2,3946	2,383657	0,0109	0,00457
13	2,35945	2,412197	-0,0527	-0,02236
14	2,4369	2,407431	0,0295	0,012093
15	2,42354	2,388423	0,0351	0,01449

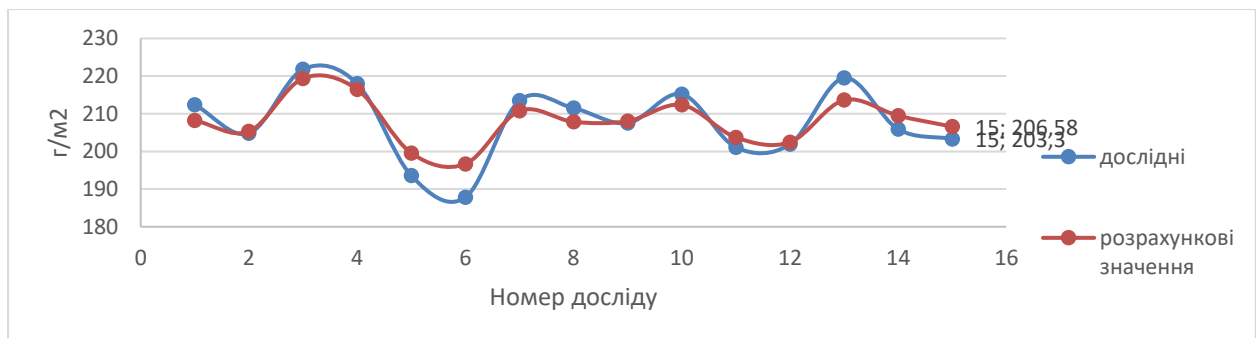


Рисунок Б.1 – Експериментальні та розрахункові значення рівняння регресії

Побудовано графічну залежність експериментальних та розрахункових даних, що дає можливість наочно оцінювати результати аналізу.

## **Додаток В**

### **Результати фізико-механічних досліджень картону, наповненого цеолітом**

В зв'язку з тим, що розривна машина РМБ-30-2М, не може розірвати зразки картону, наповненого цеолітом, тому дані фізико-механічні властивості картону нажаль не отримано.

Зусилля по шкалі вимірювання розривної машини до 100Н.

## Додаток Г

### Розрахунок похибок вимірювання

Таблиця Г.1 – Фізичні вимірювані величини та характеристика приладів

Величина	Прилад	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювання	Дискретність вимірювання	Гранична допустима похибка приладу, %
маса	ваги	г	0 - 60	0,001	0,002

Довірчий інтервал шуканої величини визначався з ймовірністю

$\alpha = 0,95$  (ступінь ризику 0,05). Результати записувалися у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta_{\Sigma} \quad (\text{Г.1})$$

де  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення фізичної величини;

$\Delta_{\Sigma}$  – значення абсолютної похибки вимірювання.

Результати вимірювань маси картону на вагах наведено в таблиці Г.2.

Таблиця Г.2 – Результати вимірювань маси картону

№ досліду	Значення вимірювання, г	$(\bar{x} - x_i)^2, \text{г}^2$
1	2,414	0,003191
2	2,3938	0,001317
3	2,436	0,006161
4	2,329	0,000813
5	2,198	0,025443
6	2,197	0,025763
7	2,344	0,000183
8	2,343	0,000211
9	2,4265	0,00476
10	2,4269	0,004815
11	2,23994	0,013823
12	2,3946	0,001376
13	2,35945	3,76E-06
14	2,4369	0,006303
15	2,42354	0,00436
	$\bar{x}=2,357509$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,00675$



Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання маси картону:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,00675}{15-1}} = 0,0219 \text{ г}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,001}{3} = 0,0003 \text{ г}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{s} = \frac{0,0003}{0,0219} = 0,0137$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання маси картону:

$$\Delta_\Sigma = \delta + t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,001 + 2,1 \frac{0,0219}{\sqrt{15}} = 0,0167 \text{ г},$$

де  $t_\alpha$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=15$  становить 2,1.

Тоді дійсне значення маси картону визначається як:

$$m = \bar{m} \pm \Delta_\Sigma = \bar{m} \pm 0,004 \text{ г},$$

де  $\bar{m}$  – виміряне на вагах значення маси картону, г.

## Додаток Д

### Результати експериментальних досліджень процесу сушіння картону, наповненого цеолітом із застосуванням інфрачервоного випромінювання

#### Д.1 Дослідження впливу густини теплового потоку на кінетику сушіння картону, наповненого цеолітом

Дослідні зразки №1-3 масою 200 та №4-6 масою 220г/м<sup>2</sup>.

Дослідження здійснювали за наступних умов:

- температура навколишнього середовища, °С 24
- відносна вологість повітря, % 70
- початкова температура зразків картону, °С 20-30

Таблиця Д.1 – Кінетичні закономірності сушіння

Номер досліді	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С	Номер досліді	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	1	0,963	1,420	20	1	20	0,919	1,310	72
1	2	0,963	1,419		1	21	0,916	1,302	
1	3	0,963	1,419		1	22	0,913	1,295	
1	4	0,962	1,417		1	23	0,910	1,287	
1	5	0,961	1,415	42,4	1	24	0,907	1,279	
1	6	0,959	1,411		1	25	0,904	1,271	
1	7	0,958	1,406		1	26	0,901	1,264	
1	8	0,955	1,400		1	27	0,898	1,256	
1	9	0,953	1,394		1	28	0,895	1,248	
1	10	0,950	1,387	64,4	1	29	0,892	1,240	
1	11	0,947	1,380		1	30	0,889	1,233	75,8
1	12	0,944	1,372		1	31	0,886	1,225	
1	13	0,941	1,364		1	32	0,882	1,217	
1	14	0,938	1,357		1	33	0,879	1,209	
1	15	0,935	1,349		1	34	0,876	1,202	
1	16	0,932	1,341		1	35	0,873	1,194	
1	17	0,929	1,333		1	36	0,870	1,186	
1	18	0,926	1,326		1	37	0,867	1,179	
1	19	0,923	1,318		1	38	0,864	1,171	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	39	0,861	1,163	
1	40	0,858	1,155	80,1
1	41	0,855	1,148	
1	42	0,852	1,140	
1	43	0,849	1,132	
1	44	0,845	1,124	
1	45	0,842	1,117	
1	46	0,839	1,109	
1	47	0,836	1,101	
1	48	0,833	1,093	
1	49	0,830	1,084	
1	50	0,827	1,077	80,8
1	51	0,827	1,077	
1	52	0,828	1,080	
1	53	0,828	1,080	
1	54	0,818	1,055	
1	55	0,820	1,060	
1	56	0,817	1,053	
1	57	0,817	1,053	
1	58	0,809	1,034	
1	59	0,804	1,019	
1	60	0,795	0,998	81,3
1	61	0,798	1,005	
1	62	0,796	1,000	
1	63	0,792	0,990	
1	64	0,791	0,988	
1	65	0,783	0,966	
1	66	0,783	0,966	
1	67	0,782	0,964	
1	68	0,772	0,940	
1	69	0,771	0,937	
1	70	0,776	0,949	82,4
1	71	0,770	0,935	
1	72	0,765	0,923	
1	73	0,764	0,920	
1	74	0,761	0,911	
1	75	0,760	0,908	
1	76	0,759	0,906	
1	77	0,759	0,906	
1	78	0,759	0,906	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	79	0,759	0,906	
1	80	0,748	0,880	84,1
1	81	0,748	0,880	
1	82	0,745	0,872	
1	83	0,737	0,853	
1	84	0,733	0,841	
1	85	0,729	0,831	
1	86	0,724	0,819	
1	87	0,721	0,812	
1	88	0,715	0,798	
1	89	0,712	0,788	
1	90	0,714	0,793	85,8
1	91	0,706	0,773	
1	92	0,699	0,757	
1	93	0,698	0,754	
1	94	0,696	0,749	
1	95	0,687	0,725	
1	96	0,687	0,725	
1	97	0,683	0,716	
1	98	0,678	0,704	
1	99	0,674	0,694	
1	100	0,669	0,682	86,1
1	101	0,669	0,682	
1	102	0,664	0,667	
1	103	0,663	0,665	
1	104	0,662	0,663	
1	105	0,656	0,648	
1	106	0,651	0,636	
1	107	0,644	0,619	
1	108	0,641	0,610	
1	109	0,637	0,600	
1	110	0,637	0,600	87,3
1	111	0,634	0,593	
1	112	0,628	0,578	
1	113	0,627	0,576	
1	114	0,624	0,569	
1	115	0,616	0,547	
1	116	0,608	0,528	
1	117	0,608	0,528	
1	118	0,608	0,528	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	119	0,605	0,520	
1	120	0,602	0,513	88
1	121	0,602	0,513	
1	122	0,599	0,506	
1	123	0,592	0,487	
1	124	0,592	0,487	
1	125	0,591	0,484	
1	126	0,587	0,475	
1	127	0,578	0,453	
1	128	0,571	0,434	
1	129	0,570	0,431	
1	130	0,570	0,431	89,2
1	131	0,565	0,419	
1	132	0,562	0,412	
1	133	0,559	0,405	
1	134	0,557	0,400	
1	135	0,557	0,400	
1	136	0,557	0,400	
1	137	0,553	0,390	
1	138	0,550	0,383	
1	139	0,549	0,378	
1	140	0,544	0,366	90,1
1	141	0,540	0,357	
1	142	0,540	0,357	
1	143	0,540	0,357	
1	144	0,536	0,347	
1	145	0,533	0,340	
1	146	0,532	0,337	
1	147	0,527	0,325	
1	148	0,525	0,318	
1	149	0,525	0,318	
1	150	0,520	0,306	90
1	151	0,514	0,292	
1	152	0,511	0,284	
1	153	0,507	0,275	
1	154	0,503	0,265	
1	155	0,503	0,263	
1	156	0,503	0,263	
1	157	0,500	0,255	
1	158	0,501	0,258	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	159	0,495	0,243	
1	160	0,498	0,251	92,3
1	161	0,496	0,246	
1	162	0,495	0,243	
1	163	0,495	0,243	
1	164	0,492	0,236	
1	165	0,491	0,234	
1	166	0,490	0,231	
1	167	0,485	0,219	
1	168	0,481	0,210	
1	169	0,480	0,205	
1	170	0,480	0,205	92,7
1	171	0,478	0,200	
1	172	0,478	0,200	
1	173	0,472	0,186	
1	174	0,472	0,186	
1	175	0,471	0,183	
1	176	0,471	0,183	
1	177	0,471	0,183	
1	178	0,468	0,176	
1	179	0,465	0,169	
1	180	0,460	0,157	99,3
1	181	0,462	0,161	
1	182	0,462	0,161	
1	183	0,457	0,149	
1	184	0,454	0,140	
1	185	0,454	0,140	
1	186	0,453	0,137	
1	187	0,456	0,145	
1	188	0,450	0,130	
1	189	0,451	0,133	
1	190	0,453	0,137	110,1
1	191	0,453	0,137	
1	192	0,449	0,128	
1	193	0,448	0,125	
1	194	0,446	0,120	
1	195	0,446	0,120	
1	196	0,440	0,106	
1	197	0,437	0,099	
1	198	0,438	0,101	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	199	0,438	0,101	
1	200	0,433	0,087	120,5
1	201	0,433	0,089	
1	202	0,434	0,092	
1	203	0,427	0,072	
1	204	0,425	0,067	
1	205	0,427	0,072	
1	206	0,427	0,072	
1	207	0,424	0,065	
1	208	0,423	0,063	
1	209	0,423	0,063	
1	210	0,423	0,063	132,1
1	211	0,419	0,053	
1	212	0,418	0,051	
1	213	0,418	0,051	
1	214	0,418	0,051	
1	215	0,418	0,051	
1	216	0,418	0,051	
1	217	0,420	0,055	
1	218	0,419	0,053	
1	219	0,413	0,039	
1	220	0,412	0,036	140,3
1	221	0,411	0,034	
1	222	0,411	0,034	
1	223	0,411	0,034	
1	224	0,410	0,029	
1	225	0,409	0,027	
1	226	0,409	0,027	
1	227	0,407	0,022	
1	228	0,401	0,007	
1	229	0,402	0,010	
1	230	0,403	0,012	145,8
1	231	0,403	0,012	
1	232	0,406	0,019	
1	233	0,406	0,019	
1	234	0,406	0,019	
1	235	0,403	0,012	
1	236	0,402	0,010	
1	237	0,402	0,010	
1	238	0,402	0,010	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
1	239	0,398	0,000	
1	240	0,392	0,014	159,1
1	241	0,396	0,005	
1	242	0,396	0,005	
1	243	0,396	0,005	
1	244	0,396	0,005	
1	245	0,396	0,005	
1	246	0,396	0,005	
1	247	0,399	0,002	
1	248	0,399	0,002	
1	249	0,399	0,002	
1	250	0,403	0,012	168,3
1	251	0,403	0,012	
1	252	0,399	0,002	
1	253	0,398	0,000	
1	254	0,397	-0,002	
1	255	0,397	-0,002	
1	256	0,394	-0,010	
1	257	0,398	0,000	
1	258	0,398	0,000	
1	259	0,398	0,000	170
2	1	0,928	1,411	25
2	2	0,920	1,389	
2	3	0,920	1,389	
2	4	0,919	1,387	
2	5	0,918	1,385	68,9
2	6	0,917	1,381	
2	7	0,915	1,376	
2	8	0,913	1,370	
2	9	0,910	1,364	
2	10	0,907	1,357	72,4
2	11	0,905	1,350	
2	12	0,902	1,342	
2	13	0,899	1,334	
2	14	0,896	1,327	
2	15	0,893	1,319	
2	16	0,890	1,311	
2	17	0,887	1,303	
2	18	0,884	1,296	
2	19	0,881	1,288	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
2	20	0,878	1,280	84,8
2	21	0,875	1,272	
2	22	0,872	1,265	
2	23	0,869	1,257	
2	24	0,866	1,249	
2	25	0,863	1,241	
2	26	0,860	1,234	
2	27	0,857	1,226	
2	28	0,854	1,218	
2	29	0,851	1,210	
2	30	0,848	1,203	85,6
2	31	0,845	1,195	
2	32	0,842	1,187	
2	33	0,839	1,179	
2	34	0,836	1,172	
2	35	0,833	1,164	
2	36	0,830	1,156	
2	37	0,827	1,149	
2	38	0,824	1,141	
2	39	0,821	1,133	
2	40	0,818	1,125	86,1
2	41	0,815	1,118	
2	42	0,812	1,110	
2	43	0,809	1,102	
2	44	0,806	1,094	
2	45	0,803	1,087	
2	46	0,800	1,079	
2	47	0,797	1,071	
2	48	0,794	1,063	
2	49	0,791	1,054	
2	50	0,788	1,047	87,2
2	51	0,788	1,047	
2	52	0,789	1,050	
2	53	0,789	1,050	
2	54	0,780	1,025	
2	55	0,782	1,030	
2	56	0,779	1,023	
2	57	0,779	1,023	
2	58	0,771	1,004	
2	59	0,766	0,989	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
2	60	0,758	0,968	87,9
2	61	0,760	0,975	
2	62	0,758	0,970	
2	63	0,755	0,960	
2	64	0,754	0,958	
2	65	0,745	0,936	
2	66	0,745	0,936	
2	67	0,745	0,934	
2	68	0,735	0,910	
2	69	0,734	0,907	
2	70	0,739	0,919	88,4
2	71	0,733	0,905	
2	72	0,729	0,893	
2	73	0,728	0,890	
2	74	0,724	0,881	
2	75	0,723	0,878	
2	76	0,722	0,876	
2	77	0,722	0,876	
2	78	0,722	0,876	
2	79	0,722	0,876	
2	80	0,712	0,850	89
2	81	0,712	0,850	
2	82	0,709	0,842	
2	83	0,702	0,823	
2	84	0,697	0,811	
2	85	0,694	0,801	
2	86	0,689	0,789	
2	87	0,686	0,782	
2	88	0,681	0,768	
2	89	0,677	0,758	
2	90	0,679	0,763	89,4
2	91	0,671	0,743	
2	92	0,665	0,727	
2	93	0,664	0,724	
2	94	0,662	0,719	
2	95	0,653	0,695	
2	96	0,653	0,695	
2	97	0,649	0,686	
2	98	0,644	0,674	
2	99	0,641	0,664	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
2	100	0,636	0,652	90,1
2	101	0,636	0,652	
2	102	0,630	0,637	
2	103	0,629	0,635	
2	104	0,629	0,633	
2	105	0,623	0,618	
2	106	0,618	0,606	
2	107	0,612	0,589	
2	108	0,608	0,580	
2	109	0,604	0,570	
2	110	0,604	0,570	94
2	111	0,602	0,563	
2	112	0,596	0,548	
2	113	0,595	0,546	
2	114	0,592	0,539	
2	115	0,584	0,517	
2	116	0,577	0,498	
2	117	0,577	0,498	
2	118	0,577	0,498	
2	119	0,574	0,490	
2	120	0,571	0,483	96,2
2	121	0,571	0,483	
2	122	0,568	0,476	
2	123	0,561	0,457	
2	124	0,561	0,457	
2	125	0,560	0,454	
2	126	0,556	0,445	
2	127	0,548	0,423	
2	128	0,540	0,404	
2	129	0,540	0,401	
2	130	0,540	0,401	99
2	131	0,535	0,389	
2	132	0,532	0,382	
2	133	0,529	0,375	
2	134	0,527	0,370	
2	135	0,527	0,370	
2	136	0,527	0,370	
2	137	0,524	0,360	
2	138	0,521	0,353	
2	139	0,519	0,348	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
2	140	0,514	0,336	105,2
2	141	0,511	0,327	
2	142	0,511	0,327	
2	143	0,511	0,327	
2	144	0,507	0,317	
2	145	0,504	0,310	
2	146	0,503	0,307	
2	147	0,499	0,295	
2	148	0,496	0,288	
2	149	0,496	0,288	
2	150	0,491	0,276	110,5
2	151	0,486	0,262	
2	152	0,483	0,254	
2	153	0,479	0,245	
2	154	0,475	0,235	
2	155	0,475	0,233	
2	156	0,475	0,233	
2	157	0,473	0,230	
2	158	0,472	0,227	
2	159	0,471	0,224	
2	160	0,470	0,221	127,2
2	161	0,469	0,218	
2	162	0,468	0,215	
2	163	0,466	0,212	
2	164	0,465	0,209	
2	165	0,464	0,206	
2	166	0,463	0,203	
2	167	0,462	0,200	
2	168	0,461	0,197	
2	169	0,460	0,194	
2	170	0,458	0,191	153,4
2	171	0,457	0,188	
2	172	0,456	0,185	
2	173	0,455	0,182	
2	174	0,454	0,179	
2	175	0,453	0,176	
2	176	0,451	0,173	
2	177	0,450	0,170	
2	178	0,449	0,167	
2	179	0,448	0,164	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
2	180	0,447	0,161	173,4
2	181	0,446	0,158	
2	182	0,445	0,155	
2	183	0,443	0,152	
2	184	0,442	0,149	
2	185	0,441	0,146	
2	186	0,440	0,143	
2	187	0,439	0,140	
2	188	0,438	0,137	
2	189	0,436	0,134	
2	190	0,435	0,131	182,9
2	191	0,434	0,128	
2	192	0,433	0,125	
2	193	0,432	0,122	
2	194	0,431	0,119	
2	195	0,430	0,116	
2	196	0,428	0,113	
2	197	0,427	0,110	
2	198	0,426	0,107	
2	199	0,425	0,104	
2	200	0,424	0,101	186,2
2	201	0,423	0,098	
2	202	0,421	0,095	
2	203	0,420	0,092	
2	204	0,419	0,089	
2	205	0,418	0,086	
2	206	0,417	0,083	
2	207	0,416	0,080	
2	208	0,415	0,077	
2	209	0,413	0,074	
2	210	0,412	0,071	193,2
2	211	0,411	0,068	
2	212	0,410	0,065	
2	213	0,409	0,062	
2	214	0,408	0,059	
2	215	0,406	0,056	
2	216	0,405	0,053	
2	217	0,404	0,050	
2	218	0,403	0,047	
2	219	0,402	0,044	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
2	220	0,401	0,041	196,5
2	221	0,399	0,038	
2	222	0,398	0,035	
2	223	0,397	0,032	
2	224	0,396	0,029	
2	225	0,395	0,026	
2	226	0,394	0,023	
2	227	0,393	0,020	
2	228	0,391	0,017	
2	229	0,390	0,014	
2	230	0,389	0,011	199,8
2	231	0,388	0,008	
2	232	0,387	0,005	
2	233	0,386	0,002	199,9
3	1	0,938	1,417	24,5
3	2	0,939	1,420	
3	3	0,938	1,418	
3	4	0,937	1,415	
3	5	0,935	1,409	68,7
3	6	0,931	1,401	
3	7	0,928	1,391	
3	8	0,923	1,379	
3	9	0,919	1,368	
3	10	0,914	1,356	93,4
3	11	0,909	1,343	
3	12	0,904	1,331	
3	13	0,899	1,318	
3	14	0,895	1,305	
3	15	0,889	1,292	
3	16	0,889	1,292	
3	17	0,883	1,276	
3	18	0,879	1,266	
3	19	0,869	1,240	
3	20	0,867	1,235	100,1
3	21	0,859	1,215	
3	22	0,857	1,210	
3	23	0,857	1,210	
3	24	0,842	1,171	
3	25	0,841	1,169	
3	26	0,837	1,156	



Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
3	27	0,838	1,159	
3	28	0,831	1,141	
3	29	0,826	1,128	
3	30	0,826	1,128	103,4
3	31	0,820	1,113	
3	32	0,808	1,082	
3	33	0,797	1,054	
3	34	0,794	1,046	
3	35	0,788	1,031	
3	36	0,782	1,015	
3	37	0,778	1,005	
3	38	0,769	0,982	
3	39	0,765	0,972	
3	40	0,758	0,954	106,7
3	41	0,748	0,928	
3	42	0,741	0,910	
3	43	0,736	0,898	
3	44	0,727	0,875	
3	45	0,725	0,870	
3	46	0,719	0,854	
3	47	0,719	0,854	
3	48	0,706	0,818	
3	49	0,698	0,798	
3	50	0,694	0,788	109
3	51	0,681	0,754	
3	52	0,672	0,731	
3	53	0,667	0,719	
3	54	0,672	0,731	
3	55	0,663	0,708	
3	56	0,660	0,701	
3	57	0,652	0,680	
3	58	0,648	0,670	
3	59	0,633	0,632	
3	60	0,633	0,632	111,2
3	61	0,625	0,611	
3	62	0,619	0,596	
3	63	0,614	0,583	
3	64	0,607	0,565	
3	65	0,598	0,542	
3	66	0,589	0,519	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
3	67	0,589	0,519	
3	68	0,585	0,509	
3	69	0,578	0,488	
3	70	0,571	0,471	112,2
3	71	0,560	0,442	
3	72	0,554	0,427	
3	73	0,556	0,432	
3	74	0,551	0,419	
3	75	0,546	0,407	
3	76	0,545	0,404	
3	77	0,541	0,394	
3	78	0,532	0,371	
3	79	0,526	0,355	
3	80	0,518	0,335	116,4
3	81	0,516	0,330	
3	82	0,512	0,320	
3	83	0,512	0,320	
3	84	0,499	0,286	
3	85	0,499	0,286	
3	86	0,494	0,274	
3	87	0,495	0,276	
3	88	0,487	0,256	
3	89	0,482	0,243	
3	90	0,477	0,230	135
3	91	0,477	0,230	
3	92	0,466	0,202	
3	93	0,463	0,194	
3	94	0,462	0,192	
3	95	0,459	0,184	
3	96	0,455	0,174	
3	97	0,453	0,166	
3	98	0,449	0,156	
3	99	0,443	0,141	
3	100	0,445	0,146	153,8
3	101	0,441	0,136	
3	102	0,435	0,120	
3	103	0,430	0,107	
3	104	0,430	0,107	
3	105	0,429	0,105	
3	106	0,424	0,092	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
3	107	0,415	0,069	
3	108	0,414	0,066	
3	109	0,414	0,066	
3	110	0,417	0,074	187,3
3	111	0,417	0,074	
3	112	0,417	0,074	
3	113	0,413	0,064	
3	114	0,413	0,064	
3	115	0,410	0,056	
3	116	0,409	0,054	
3	117	0,409	0,054	
3	118	0,409	0,054	
3	119	0,406	0,046	
3	120	0,408	0,051	199
3	121	0,404	0,041	
3	122	0,400	0,031	
3	123	0,396	0,020	
3	124	0,396	0,020	
3	125	0,396	0,020	
3	126	0,391	0,008	
3	127	0,391	0,008	
3	128	0,395	0,018	
3	129	0,394	0,015	
3	130	0,391	0,008	212
3	131	0,391	0,008	
3	132	0,391	0,008	
3	133	0,391	0,007	
3	134	0,391	0,007	
3	135	0,391	0,007	
3	136	0,391	0,007	
3	137	0,391	0,007	
3	138	0,391	0,007	
3	139	0,391	0,007	
3	140	0,391	0,007	218,1
3	141	0,391	0,007	
3	142	0,391	0,007	
3	143	0,391	0,006	
3	144	0,390	0,006	
3	145	0,390	0,006	
3	146	0,390	0,006	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
3	147	0,390	0,006	
3	148	0,390	0,006	
3	149	0,390	0,006	
3	150	0,390	0,006	227,8
3	151	0,390	0,006	
3	152	0,390	0,006	
3	153	0,390	0,005	
3	154	0,390	0,005	
3	155	0,390	0,005	
3	156	0,390	0,005	
3	157	0,390	0,005	
3	158	0,390	0,005	
3	159	0,390	0,005	
3	160	0,390	0,005	233
3	161	0,390	0,005	
3	162	0,390	0,005	
3	163	0,390	0,004	
3	164	0,390	0,004	
3	165	0,390	0,004	
3	166	0,390	0,004	
3	167	0,390	0,004	
3	168	0,390	0,004	
3	169	0,390	0,004	
3	170	0,389	0,004	238
3	171	0,389	0,004	
3	172	0,389	0,004	
3	173	0,389	0,003	
3	174	0,389	0,003	
3	175	0,389	0,003	
3	176	0,389	0,003	
3	177	0,389	0,003	
3	178	0,389	0,003	
3	179	0,389	0,003	
3	180	0,389	0,003	240
3	181	0,389	0,003	
3	182	0,389	0,003	
3	183	0,389	0,002	
3	184	0,389	0,002	
3	185	0,389	0,002	
3	186	0,389	0,002	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
3	187	0,389	0,002	
3	188	0,389	0,002	
3	189	0,389	0,002	
3	190	0,389	0,002	241
3	191	0,389	0,002	
3	192	0,389	0,002	
3	193	0,389	0,001	
3	194	0,389	0,001	
3	195	0,388	0,001	
3	196	0,388	0,001	
3	197	0,388	0,001	
3	198	0,388	0,001	
3	199	0,388	0,001	
3	200	0,388	0,001	241,8
3	201	0,388	0,001	
3	202	0,388	0,001	
3	203	0,388	0,000	
3	204	0,388	0,000	
3	205	0,388	0,000	
3	206	0,388	0,000	242
4	1	0,958	1,401	33
4	3	0,954	1,391	
4	5	0,950	1,380	
4	7	0,945	1,367	
4	9	0,939	1,352	
4	11	0,935	1,342	70,1
4	13	0,930	1,331	
4	15	0,925	1,318	
4	17	0,919	1,303	
4	19	0,915	1,293	
4	21	0,911	1,282	80,8
4	23	0,905	1,269	
4	25	0,899	1,254	
4	27	0,895	1,244	
4	29	0,891	1,233	
4	31	0,886	1,220	82,4
4	33	0,880	1,205	
4	35	0,876	1,195	
4	37	0,871	1,184	
4	39	0,866	1,171	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
4	41	0,860	1,156	84,3
4	43	0,856	1,146	
4	45	0,852	1,135	
4	47	0,847	1,122	
4	49	0,841	1,107	
4	51	0,837	1,097	85,8
4	53	0,832	1,086	
4	55	0,827	1,073	
4	57	0,821	1,058	
4	59	0,817	1,048	
4	61	0,813	1,037	86,2
4	63	0,808	1,024	
4	65	0,802	1,009	
4	67	0,798	0,999	
4	69	0,793	0,988	
4	71	0,788	0,975	87,1
4	73	0,782	0,960	
4	75	0,778	0,950	
4	77	0,774	0,939	
4	79	0,769	0,926	
4	81	0,763	0,911	88
4	83	0,759	0,901	
4	85	0,754	0,890	
4	87	0,749	0,877	
4	89	0,743	0,862	
4	91	0,739	0,852	88,4
4	93	0,735	0,841	
4	95	0,729	0,828	
4	97	0,723	0,813	
4	99	0,719	0,803	
4	101	0,715	0,792	89
4	103	0,710	0,779	
4	105	0,704	0,764	
4	107	0,700	0,754	
4	109	0,696	0,743	
4	111	0,690	0,730	88
4	113	0,684	0,715	
4	115	0,680	0,705	
4	117	0,676	0,694	
4	119	0,671	0,681	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
4	121	0,665	0,666	87,3
4	123	0,661	0,656	
4	125	0,656	0,645	
4	127	0,651	0,632	
4	129	0,645	0,617	
4	131	0,641	0,607	90,1
4	133	0,637	0,596	
4	135	0,632	0,583	
4	137	0,626	0,568	
4	139	0,622	0,558	
4	141	0,617	0,547	92,1
4	143	0,612	0,534	
4	145	0,606	0,519	
4	147	0,602	0,509	
4	149	0,598	0,498	
4	151	0,593	0,485	92,7
4	153	0,587	0,470	
4	155	0,583	0,460	
4	157	0,578	0,449	
4	159	0,573	0,436	
4	161	0,578	0,448	96,3
4	163	0,569	0,425	
4	165	0,563	0,412	
4	167	0,567	0,422	
4	169	0,558	0,399	
4	171	0,551	0,381	98,9
4	173	0,550	0,378	
4	175	0,547	0,370	
4	177	0,532	0,334	
4	179	0,527	0,321	
4	181	0,529	0,326	99,9
4	183	0,526	0,319	
4	185	0,521	0,306	
4	187	0,516	0,293	
4	189	0,511	0,280	
4	191	0,510	0,277	105,4
4	193	0,504	0,264	
4	195	0,502	0,259	
4	197	0,494	0,238	
4	199	0,491	0,231	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
4	201	0,489	0,225	110,1
4	203	0,480	0,202	
4	205	0,474	0,189	
4	207	0,473	0,187	
4	209	0,466	0,168	
4	211	0,469	0,176	120,4
4	213	0,467	0,171	
4	215	0,464	0,163	
4	217	0,459	0,150	
4	219	0,457	0,145	
4	221	0,451	0,130	132
4	223	0,448	0,122	
4	225	0,446	0,117	
4	227	0,446	0,117	
4	229	0,440	0,104	
4	231	0,439	0,101	140,6
4	233	0,431	0,080	
4	235	0,430	0,078	
4	237	0,429	0,075	
4	239	0,424	0,062	
4	241	0,422	0,057	157,8
4	243	0,420	0,052	
4	245	0,420	0,052	
4	247	0,420	0,052	
4	249	0,420	0,052	
4	251	0,415	0,039	169,7
4	253	0,413	0,036	
4	255	0,416	0,041	
4	257	0,411	0,031	
4	259	0,410	0,028	
4	261	0,412	0,034	170
5	1	0,954	1,410	32,8
5	2	0,954	1,409	
5	3	0,954	1,409	
5	4	0,953	1,407	
5	5	0,953	1,407	
5	6	0,953	1,405	
5	7	0,952	1,405	
5	8	0,952	1,404	
5	9	0,952	1,403	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	10	0,950	1,398	87,1
5	11	0,948	1,393	
5	12	0,946	1,388	
5	13	0,943	1,382	
5	14	0,941	1,377	
5	15	0,939	1,372	
5	16	0,937	1,366	
5	17	0,934	1,360	
5	18	0,932	1,354	
5	19	0,930	1,348	
5	20	0,927	1,342	89,4
5	21	0,925	1,336	
5	22	0,923	1,330	
5	23	0,920	1,324	
5	24	0,918	1,318	
5	25	0,916	1,312	
5	26	0,913	1,306	
5	27	0,911	1,300	
5	28	0,905	1,285	
5	29	0,898	1,267	
5	30	0,898	1,267	91,2
5	31	0,898	1,267	
5	32	0,895	1,259	
5	33	0,895	1,259	
5	34	0,895	1,259	
5	35	0,905	1,285	
5	36	0,894	1,256	
5	37	0,882	1,228	
5	38	0,883	1,231	
5	39	0,884	1,233	
5	40	0,871	1,200	93,6
5	41	0,873	1,205	
5	42	0,874	1,208	
5	43	0,869	1,195	
5	44	0,868	1,192	
5	45	0,864	1,182	
5	46	0,864	1,182	
5	47	0,855	1,159	
5	48	0,852	1,151	
5	49	0,843	1,128	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	50	0,847	1,138	93,8
5	51	0,837	1,113	
5	52	0,832	1,100	
5	53	0,829	1,092	
5	54	0,826	1,085	
5	55	0,816	1,062	
5	56	0,812	1,051	
5	57	0,812	1,051	
5	58	0,812	1,051	
5	59	0,800	1,021	
5	60	0,798	1,015	94,1
5	61	0,797	1,013	
5	62	0,792	1,000	
5	63	0,790	0,995	
5	64	0,786	0,985	
5	65	0,782	0,974	
5	66	0,777	0,962	
5	67	0,777	0,962	
5	68	0,773	0,951	
5	69	0,767	0,936	
5	70	0,764	0,928	94,5
5	71	0,757	0,913	
5	72	0,756	0,910	
5	73	0,755	0,908	
5	74	0,750	0,895	
5	75	0,741	0,872	
5	76	0,740	0,869	
5	77	0,735	0,856	
5	78	0,728	0,838	
5	79	0,728	0,838	
5	80	0,729	0,841	94,6
5	81	0,729	0,841	
5	82	0,721	0,821	
5	83	0,716	0,808	
5	84	0,712	0,797	
5	85	0,710	0,792	
5	86	0,707	0,785	
5	87	0,705	0,779	
5	88	0,698	0,762	
5	89	0,692	0,749	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	90	0,688	0,738	95,1
5	91	0,689	0,741	
5	92	0,688	0,738	
5	93	0,682	0,723	
5	94	0,681	0,721	
5	95	0,670	0,692	
5	96	0,667	0,685	
5	97	0,671	0,695	
5	98	0,670	0,692	
5	99	0,670	0,692	
5	100	0,666	0,682	95,3
5	101	0,666	0,682	
5	102	0,654	0,651	
5	103	0,645	0,628	
5	104	0,644	0,626	
5	105	0,640	0,615	
5	106	0,635	0,603	
5	107	0,636	0,605	
5	108	0,634	0,600	
5	109	0,633	0,597	
5	110	0,628	0,585	96
5	111	0,628	0,585	
5	112	0,621	0,569	
5	113	0,617	0,559	
5	114	0,613	0,549	
5	115	0,613	0,549	
5	116	0,613	0,549	
5	117	0,609	0,538	
5	118	0,603	0,523	
5	119	0,602	0,521	
5	120	0,598	0,510	96,7
5	121	0,597	0,508	
5	122	0,587	0,482	
5	123	0,586	0,479	
5	124	0,579	0,462	
5	125	0,579	0,462	
5	126	0,575	0,451	
5	127	0,567	0,431	
5	128	0,568	0,433	
5	129	0,564	0,423	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	130	0,565	0,426	104,6
5	131	0,565	0,426	
5	132	0,560	0,415	
5	133	0,551	0,392	
5	134	0,552	0,395	
5	135	0,553	0,397	
5	136	0,553	0,397	
5	137	0,548	0,385	
5	138	0,546	0,379	
5	139	0,536	0,354	
5	140	0,536	0,354	124,8
5	141	0,536	0,354	
5	142	0,533	0,346	
5	143	0,533	0,346	
5	144	0,526	0,328	
5	145	0,524	0,323	
5	146	0,522	0,318	
5	147	0,522	0,318	
5	148	0,520	0,313	
5	149	0,517	0,305	
5	150	0,517	0,305	139,3
5	151	0,513	0,295	
5	152	0,513	0,295	
5	153	0,513	0,295	
5	154	0,504	0,272	
5	155	0,504	0,272	
5	156	0,504	0,272	
5	157	0,500	0,262	
5	158	0,500	0,262	
5	159	0,499	0,259	
5	160	0,499	0,259	148,8
5	161	0,499	0,259	
5	162	0,497	0,254	
5	163	0,494	0,249	
5	164	0,490	0,238	
5	165	0,490	0,238	
5	166	0,490	0,238	
5	167	0,490	0,238	
5	168	0,485	0,226	
5	169	0,485	0,226	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	170	0,480	0,213	159
5	171	0,476	0,203	
5	172	0,478	0,208	
5	173	0,479	0,210	
5	174	0,472	0,192	
5	175	0,472	0,192	
5	176	0,472	0,192	
5	177	0,472	0,192	
5	178	0,466	0,177	
5	179	0,464	0,172	
5	180	0,464	0,172	168,1
5	181	0,461	0,164	
5	182	0,461	0,164	
5	183	0,455	0,149	
5	184	0,455	0,149	
5	185	0,455	0,149	
5	186	0,455	0,149	
5	187	0,455	0,149	
5	188	0,455	0,149	
5	189	0,455	0,149	
5	190	0,455	0,149	172,4
5	191	0,453	0,144	
5	192	0,452	0,141	
5	193	0,451	0,138	
5	194	0,448	0,131	
5	195	0,447	0,128	
5	196	0,447	0,128	
5	197	0,437	0,103	
5	198	0,445	0,123	
5	199	0,444	0,121	
5	200	0,443	0,118	186,5
5	201	0,443	0,118	
5	202	0,446	0,126	
5	203	0,442	0,115	
5	204	0,442	0,115	
5	205	0,438	0,105	
5	206	0,439	0,108	
5	207	0,437	0,103	
5	208	0,434	0,095	
5	209	0,435	0,097	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	210	0,433	0,092	192,3
5	211	0,431	0,087	
5	212	0,433	0,092	
5	213	0,428	0,082	
5	214	0,424	0,072	
5	215	0,423	0,069	
5	216	0,424	0,072	
5	217	0,422	0,067	
5	218	0,421	0,064	
5	219	0,422	0,067	
5	220	0,422	0,067	197,1
5	221	0,419	0,059	
5	222	0,419	0,059	
5	223	0,424	0,072	
5	224	0,422	0,067	
5	225	0,420	0,062	
5	226	0,420	0,062	
5	227	0,420	0,062	
5	228	0,418	0,056	
5	229	0,418	0,056	
5	230	0,414	0,046	199,1
5	231	0,417	0,054	
5	232	0,413	0,044	
5	233	0,413	0,044	
5	234	0,413	0,044	
5	235	0,413	0,044	
5	236	0,409	0,033	
5	237	0,410	0,036	
5	238	0,405	0,023	
5	239	0,410	0,036	
5	240	0,408	0,031	199,8
5	241	0,407	0,028	
5	242	0,410	0,036	
5	243	0,410	0,036	
5	244	0,406	0,026	
5	245	0,408	0,031	
5	246	0,402	0,015	
5	247	0,404	0,021	
5	248	0,402	0,015	
5	249	0,402	0,015	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
5	250	0,402	0,015	201
5	251	0,402	0,015	
5	252	0,404	0,021	
5	253	0,403	0,018	
5	254	0,404	0,021	
5	255	0,404	0,021	
5	256	0,404	0,021	
5	257	0,402	0,015	
5	258	0,406	0,026	
5	259	0,406	0,026	
5	260	0,406	0,026	
5	261	0,404	0,021	201
5	262	0,402	0,015	
5	263	0,402	0,015	
5	264	0,402	0,015	
5	265	0,402	0,015	
5	266	0,402	0,015	
5	267	0,402	0,015	
5	268	0,402	0,015	
5	269	0,402	0,015	
5	270	0,402	0,015	201,1
5	271	0,398	0,005	
5	272	0,404	0,021	
5	273	0,405	0,023	
5	274	0,405	0,023	
5	275	0,402	0,015	
5	276	0,402	0,015	201
6	1	0,967	1,417	25
6	2	0,968	1,420	
6	3	0,967	1,418	
6	4	0,966	1,415	
6	5	0,963	1,409	
6	6	0,960	1,401	
6	7	0,956	1,391	
6	8	0,952	1,379	
6	9	0,947	1,368	
6	10	0,942	1,356	93,4
6	11	0,937	1,343	
6	12	0,932	1,331	
6	13	0,927	1,318	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
6	14	0,922	1,305	
6	15	0,917	1,292	
6	16	0,917	1,292	
6	17	0,910	1,276	
6	18	0,906	1,266	
6	19	0,896	1,240	
6	20	0,894	1,235	99,9
6	21	0,886	1,215	
6	22	0,884	1,210	
6	23	0,884	1,210	
6	24	0,869	1,171	
6	25	0,868	1,169	
6	26	0,862	1,156	
6	27	0,863	1,159	
6	28	0,856	1,141	
6	29	0,851	1,128	
6	30	0,851	1,128	101,9
6	31	0,845	1,113	
6	32	0,833	1,082	
6	33	0,821	1,054	
6	34	0,818	1,046	
6	35	0,812	1,031	
6	36	0,806	1,015	
6	37	0,802	1,005	
6	38	0,793	0,982	
6	39	0,789	0,972	
6	40	0,782	0,954	103,9
6	41	0,771	0,928	
6	42	0,764	0,910	
6	43	0,759	0,898	
6	44	0,750	0,875	
6	45	0,748	0,870	
6	46	0,742	0,854	
6	47	0,742	0,854	
6	48	0,727	0,818	
6	50	0,719	0,798	105,4
6	52	0,715	0,788	
6	53	0,702	0,754	
6	54	0,693	0,731	
6	55	0,687	0,719	



Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
6	56	0,693	0,731	
6	57	0,683	0,708	
6	58	0,680	0,701	
6	59	0,672	0,680	
6	60	0,668	0,670	108,5
6	61	0,653	0,632	
6	62	0,653	0,632	
6	63	0,645	0,611	
6	64	0,638	0,596	
6	65	0,633	0,583	
6	66	0,626	0,565	
6	67	0,617	0,542	
6	68	0,608	0,519	
6	69	0,608	0,519	
6	70	0,604	0,509	110
6	71	0,595	0,488	
6	72	0,588	0,471	
6	73	0,577	0,442	
6	74	0,571	0,427	
6	75	0,573	0,432	
6	76	0,568	0,419	
6	77	0,563	0,407	
6	78	0,562	0,404	
6	79	0,558	0,394	
6	80	0,548	0,371	113,6
6	81	0,542	0,355	
6	82	0,534	0,335	
6	83	0,532	0,330	
6	84	0,528	0,320	
6	85	0,528	0,320	
6	86	0,515	0,286	
6	87	0,515	0,286	
6	88	0,509	0,274	
6	89	0,510	0,276	
6	90	0,502	0,256	126,2
6	91	0,497	0,243	
6	92	0,492	0,230	
6	93	0,492	0,230	
6	94	0,481	0,202	
6	95	0,478	0,194	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
6	96	0,477	0,192	
6	97	0,474	0,184	
6	98	0,470	0,174	
6	99	0,466	0,166	
6	100	0,462	0,156	145,4
6	101	0,456	0,141	
6	102	0,458	0,146	
6	103	0,454	0,136	
6	104	0,448	0,120	
6	105	0,443	0,107	
6	106	0,443	0,107	
6	107	0,442	0,105	
6	108	0,437	0,092	
6	109	0,428	0,069	
6	110	0,427	0,066	188,9
6	111	0,427	0,066	
6	112	0,430	0,074	
6	113	0,430	0,074	
6	114	0,430	0,074	
6	115	0,426	0,064	
6	116	0,426	0,064	
6	117	0,423	0,056	
6	118	0,421	0,054	
6	119	0,421	0,054	
6	120	0,421	0,054	206,1
6	121	0,418	0,046	
6	122	0,420	0,051	
6	123	0,416	0,041	
6	124	0,412	0,031	
6	125	0,408	0,020	
6	126	0,408	0,020	
6	127	0,408	0,020	
6	128	0,403	0,008	
6	129	0,403	0,008	
6	130	0,407	0,018	215
6	131	0,406	0,015	
6	132	0,403	0,008	
6	133	0,403	0,008	
6	134	0,403	0,008	
6	135	0,403	0,007	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
6	136	0,403	0,007	
6	137	0,403	0,007	
6	138	0,403	0,007	
6	139	0,403	0,007	
6	140	0,403	0,007	218,2
6	141	0,403	0,007	
6	142	0,403	0,007	
6	143	0,403	0,007	
6	144	0,403	0,007	
6	145	0,403	0,006	
6	146	0,403	0,006	
6	147	0,403	0,006	
6	148	0,402	0,006	
6	149	0,402	0,006	
6	150	0,402	0,006	226,1
6	151	0,402	0,006	
6	152	0,402	0,006	
6	153	0,402	0,006	
6	154	0,402	0,006	
6	155	0,402	0,005	
6	156	0,402	0,005	
6	157	0,402	0,005	
6	158	0,402	0,005	
6	159	0,402	0,005	
6	160	0,402	0,005	231,4
6	161	0,402	0,005	
6	162	0,402	0,005	
6	163	0,402	0,005	
6	164	0,402	0,005	
6	165	0,402	0,004	
6	166	0,402	0,004	
6	167	0,402	0,004	
6	168	0,402	0,004	
6	169	0,402	0,004	

Номер досліду	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С
6	170	0,402	0,004	241,1
6	171	0,402	0,004	
6	172	0,402	0,004	
6	173	0,401	0,004	
6	174	0,401	0,004	
6	175	0,401	0,003	
6	176	0,401	0,003	
6	177	0,401	0,003	
6	178	0,401	0,003	
6	179	0,401	0,003	
6	180	0,401	0,003	243
6	181	0,401	0,003	
6	182	0,401	0,003	
6	183	0,401	0,003	
6	184	0,401	0,003	
6	185	0,401	0,002	
6	186	0,401	0,002	
6	187	0,401	0,002	
6	188	0,401	0,002	
6	189	0,401	0,002	
6	190	0,401	0,002	243,4
6	191	0,401	0,002	
6	192	0,401	0,002	
6	193	0,401	0,002	
6	194	0,401	0,002	
6	195	0,401	0,001	
6	196	0,401	0,001	
6	197	0,401	0,001	
6	198	0,400	0,001	
6	199	0,400	0,001	
6	200	0,400	0,001	244,1
6	201	0,400	0,001	
6	202	0,400	0,001	
6	203	0,400	0,001	244

## Д.2 Дослідження впливу наповнювача на кінетику сушіння картону, наповненого цеолітом

Дослідні зразки №7-8 масою 200 г/м<sup>2</sup> з різним вмістом цеоліту:

№7 – 18% цеоліту;

№8 – 6% цеоліту.

Дослідження здійснювали за наступних умов:

- температура навколишнього середовища, °С 24
- відносна вологість повітря, % 70
- початкова температура зразків картону, °С 20-30

Таблиця Д.2 – Кінетичні закономірності сушіння картону,  
наповненого різним вмістом цеоліту

Номер досліджу	Час сушіння, с	Маса зразка, г	Вологовміст, кг/кг	Температура зразка, °С	
1	1	0,947	1,428	33	
1	3	0,941	1,413		
1	5	0,943	1,418		
1	7	0,934	1,395		
1	9	0,93	1,385		
1	11	0,921	1,362	70,1	
1	13	0,92	1,359		
1	15	0,91	1,333		
1	17	0,909	1,331		
1	19	0,9	1,308		
1	21	0,895	1,295	80,8	
1	23	0,886	1,272		
1	25	0,882	1,262		
1	27	0,877	1,249		
1	29	0,869	1,228		
1	31	0,865	1,218	82,4	
1	33	0,864	1,215		
1	35	0,856	1,195		
1	37	0,854	1,190		
1	39	0,847	1,172		
1	41	0,843	1,162	84,3	
1	43	0,84	1,154		
1	45	0,832	1,133		
1	47	0,827	1,121		
1	49	0,815	1,090		
1	51	0,812	1,082	85,8	
1	53	0,806	1,067		
1	55	0,799	1,049		
1	57	0,791	1,028		
1	59	0,784	1,010		
1	61	0,782	1,005	86,2	
1	63	0,772	0,979		
1	65	0,769	0,972		
1	67	0,767	0,967		
1	69	0,759	0,946		
1	71	0,75	0,923	87,1	
1	73	0,745	0,910		
1	75	0,737	0,890		
1	77	0,734	0,882		
1	79	0,729	0,869		
1	81	0,719	0,844	88	
1	83	0,713	0,828		
1	85	0,705	0,808		
1	87	0,699	0,792		
1	89	0,699	0,792		
1	91	0,699	0,792	88,4	
1	93	0,691	0,772		
1	95	0,691	0,772		

1	97	0,679	0,741	
1	99	0,676	0,733	
1	101	0,663	0,700	89
1	103	0,658	0,687	
1	105	0,651	0,669	
1	107	0,641	0,644	
1	109	0,641	0,644	
1	111	0,636	0,631	88
1	113	0,633	0,623	
1	115	0,63	0,615	
1	117	0,63	0,615	
1	119	0,63	0,615	
1	121	0,624	0,600	87,3
1	123	0,618	0,585	
1	125	0,613	0,572	
1	127	0,608	0,559	
1	129	0,598	0,533	
1	131	0,596	0,528	90,1
1	133	0,596	0,528	
1	135	0,589	0,510	
1	137	0,579	0,485	
1	139	0,578	0,482	
1	141	0,572	0,467	92,1
1	143	0,556	0,426	
1	145	0,559	0,433	
1	147	0,56	0,436	
1	149	0,556	0,426	
1	151	0,549	0,408	92,7
1	153	0,545	0,397	
1	155	0,542	0,390	
1	157	0,54	0,385	
1	159	0,54	0,385	
1	161	0,538	0,379	96,3
1	163	0,531	0,362	
1	165	0,524	0,344	
1	167	0,522	0,338	
1	169	0,518	0,328	
1	171	0,517	0,326	98,9
1	173	0,518	0,328	
1	175	0,516	0,323	
1	177	0,51	0,308	
1	179	0,508	0,303	
1	181	0,501	0,285	99,9
1	183	0,499	0,279	
1	185	0,498	0,277	
1	187	0,489	0,254	

1	189	0,486	0,246	
1	191	0,486	0,246	105,4
1	193	0,48	0,231	
1	195	0,48	0,231	
1	197	0,473	0,213	
1	199	0,473	0,213	
1	201	0,465	0,192	110,1
1	203	0,464	0,190	
1	205	0,464	0,190	
1	207	0,464	0,190	
1	209	0,46	0,179	
1	211	0,46	0,179	120,4
1	213	0,456	0,169	
1	215	0,453	0,162	
1	217	0,447	0,146	
1	219	0,449	0,151	
1	221	0,449	0,151	132
1	223	0,449	0,151	
1	225	0,447	0,146	
1	227	0,439	0,126	
1	229	0,439	0,126	
1	231	0,437	0,121	140,6
1	233	0,437	0,121	
1	235	0,437	0,121	
1	237	0,43	0,103	
1	239	0,434	0,113	
1	241	0,432	0,108	157,8
1	243	0,43	0,103	
1	245	0,426	0,092	
1	247	0,426	0,092	
1	249	0,423	0,085	
1	251	0,419	0,074	169,7
1	253	0,415	0,064	
1	255	0,409	0,049	
1	257	0,407	0,044	
1	259	0,408	0,046	
1	261	0,413	0,059	170
1	263	0,41	0,051	
1	265	0,41	0,051	
1	267	0,408	0,046	
1	269	0,406	0,041	
1	271	0,408	0,046	
1	273	0,408	0,046	
1	275	0,408	0,046	
1	277	0,408	0,046	
1	279	0,408	0,046	

1	281	0,408	0,046	
1	283	0,408	0,046	
1	285	0,403	0,033	
1	287	0,404	0,036	
1	289	0,4	0,026	
1	291	0,403	0,033	
1	293	0,404	0,036	
1	295	0,402	0,031	
1	297	0,398	0,021	
1	299	0,397	0,018	
1	301	0,396	0,015	
1	303	0,395	0,013	
1	305	0,391	0,003	
1	307	0,391	0,003	
1	309	0,391	0,003	
2	1	0,963	1,420	20
2	2	0,963	1,419	
2	3	0,963	1,419	
2	4	0,962	1,417	
2	5	0,961	1,415	42,5
2	6	0,959	1,411	
2	7	0,958	1,406	
2	8	0,955	1,400	
2	9	0,953	1,394	
2	10	0,950	1,387	64,4
2	11	0,947	1,380	
2	12	0,944	1,372	
2	13	0,941	1,364	
2	14	0,938	1,357	
2	15	0,935	1,349	
2	16	0,932	1,341	
2	17	0,929	1,333	
2	18	0,926	1,326	
2	19	0,923	1,318	
2	20	0,919	1,310	72,1
2	21	0,916	1,302	
2	22	0,913	1,295	
2	23	0,910	1,287	
2	24	0,907	1,279	
2	25	0,904	1,271	
2	26	0,901	1,264	
2	27	0,898	1,256	
2	28	0,895	1,248	
2	29	0,892	1,240	
2	30	0,889	1,233	75,8
2	31	0,886	1,225	

2	32	0,882	1,217	
2	33	0,879	1,209	
2	34	0,876	1,202	
2	35	0,873	1,194	
2	36	0,870	1,186	
2	37	0,867	1,179	
2	38	0,864	1,171	
2	39	0,861	1,163	
2	40	0,858	1,155	80,2
2	41	0,855	1,148	
2	42	0,852	1,140	
2	43	0,849	1,132	
2	44	0,845	1,124	
2	45	0,842	1,117	
2	46	0,839	1,109	
2	47	0,836	1,101	
2	48	0,833	1,093	
2	49	0,830	1,084	
2	50	0,827	1,077	80,8
2	51	0,827	1,077	
2	52	0,828	1,080	
2	53	0,828	1,080	
2	54	0,818	1,055	
2	55	0,820	1,060	
2	56	0,817	1,053	
2	57	0,817	1,053	
2	58	0,809	1,034	
2	59	0,804	1,019	
2	60	0,795	0,998	81,3
2	61	0,798	1,005	
2	62	0,796	1,000	
2	63	0,792	0,990	
2	64	0,791	0,988	
2	65	0,783	0,966	
2	66	0,783	0,966	
2	67	0,782	0,964	
2	68	0,772	0,940	
2	69	0,771	0,937	
2	70	0,776	0,949	82,4
2	71	0,770	0,935	
2	72	0,765	0,923	
2	73	0,764	0,920	
2	74	0,761	0,911	
2	75	0,760	0,908	
2	76	0,759	0,906	
2	77	0,759	0,906	

2	78	0,759	0,906	
2	79	0,759	0,906	
2	80	0,748	0,880	84,1
2	81	0,748	0,880	
2	82	0,745	0,872	
2	83	0,737	0,853	
2	84	0,733	0,841	
2	85	0,729	0,831	
2	86	0,724	0,819	
2	87	0,721	0,812	
2	88	0,715	0,798	
2	89	0,712	0,788	
2	90	0,714	0,793	85,8
2	91	0,706	0,773	
2	92	0,699	0,757	
2	93	0,698	0,754	
2	94	0,696	0,749	
2	95	0,687	0,725	
2	96	0,687	0,725	
2	97	0,683	0,716	
2	98	0,678	0,704	
2	99	0,674	0,694	
2	100	0,669	0,682	86,1
2	101	0,669	0,682	
2	102	0,664	0,667	
2	103	0,663	0,665	
2	104	0,662	0,663	
2	105	0,656	0,648	
2	106	0,651	0,636	
2	107	0,644	0,619	
2	108	0,641	0,610	
2	109	0,637	0,600	
2	110	0,637	0,600	87,3
2	111	0,634	0,593	
2	112	0,628	0,578	
2	113	0,627	0,576	
2	114	0,624	0,569	
2	115	0,616	0,547	
2	116	0,608	0,528	
2	117	0,608	0,528	
2	118	0,608	0,528	
2	119	0,605	0,520	
2	120	0,602	0,513	88,1
2	121	0,602	0,513	
2	122	0,599	0,506	
2	123	0,592	0,487	

2	124	0,592	0,487	
2	125	0,591	0,484	
2	126	0,587	0,475	
2	127	0,578	0,453	
2	128	0,571	0,434	
2	129	0,570	0,431	
2	130	0,570	0,431	89,4
2	131	0,565	0,419	
2	132	0,562	0,412	
2	133	0,559	0,405	
2	134	0,557	0,400	
2	135	0,557	0,400	
2	136	0,557	0,400	
2	137	0,553	0,390	
2	138	0,550	0,383	
2	139	0,549	0,378	
2	140	0,544	0,366	90,1
2	141	0,540	0,357	
2	142	0,540	0,357	
2	143	0,540	0,357	
2	144	0,536	0,347	
2	145	0,533	0,340	
2	146	0,532	0,337	
2	147	0,527	0,325	
2	148	0,525	0,318	
2	149	0,525	0,318	
2	150	0,520	0,306	90
2	151	0,514	0,292	
2	152	0,511	0,284	
2	153	0,507	0,275	
2	154	0,503	0,265	
2	155	0,503	0,263	
2	156	0,503	0,263	
2	157	0,500	0,255	
2	158	0,501	0,258	
2	159	0,495	0,243	
2	160	0,498	0,251	92,1
2	161	0,496	0,246	
2	162	0,495	0,243	
2	163	0,495	0,243	
2	164	0,492	0,236	
2	165	0,491	0,234	
2	166	0,490	0,231	
2	167	0,485	0,219	
2	168	0,481	0,210	
2	169	0,480	0,205	

2	170	0,480	0,205	92,7
2	171	0,478	0,200	
2	172	0,478	0,200	
2	173	0,472	0,186	
2	174	0,472	0,186	
2	175	0,471	0,183	
2	176	0,471	0,183	
2	177	0,471	0,183	
2	178	0,468	0,176	
2	179	0,465	0,169	
2	180	0,460	0,157	99,7
2	181	0,462	0,161	
2	182	0,462	0,161	
2	183	0,457	0,149	
2	184	0,454	0,140	
2	185	0,454	0,140	
2	186	0,453	0,137	
2	187	0,456	0,145	
2	188	0,450	0,130	
2	189	0,451	0,133	
2	190	0,453	0,137	110,1
2	191	0,453	0,137	
2	192	0,449	0,128	
2	193	0,448	0,125	
2	194	0,446	0,120	
2	195	0,446	0,120	
2	196	0,440	0,106	
2	197	0,437	0,099	
2	198	0,438	0,101	
2	199	0,438	0,101	
2	200	0,433	0,087	119,8
2	201	0,433	0,089	
2	202	0,434	0,092	
2	203	0,427	0,072	
2	204	0,425	0,067	
2	205	0,427	0,072	
2	206	0,427	0,072	
2	207	0,424	0,065	
2	208	0,423	0,063	
2	209	0,423	0,063	
2	210	0,423	0,063	134,3
2	211	0,419	0,053	
2	212	0,418	0,051	
2	213	0,418	0,051	
2	214	0,418	0,051	

2	215	0,418	0,051	
2	216	0,418	0,051	
2	217	0,420	0,055	
2	218	0,419	0,053	
2	219	0,413	0,039	
2	220	0,412	0,036	145,1
2	221	0,411	0,034	
2	222	0,411	0,034	
2	223	0,411	0,034	
2	224	0,410	0,029	
2	225	0,409	0,027	
2	226	0,409	0,027	
2	227	0,407	0,022	
2	228	0,401	0,007	
2	229	0,402	0,010	
2	230	0,403	0,012	155
2	231	0,403	0,012	
2	232	0,406	0,019	
2	233	0,406	0,019	
2	234	0,406	0,019	
2	235	0,403	0,012	
2	236	0,402	0,010	
2	237	0,402	0,010	
2	238	0,402	0,010	
2	239	0,398	0,000	
2	240	0,392	0,014	158,3
2	241	0,396	0,005	
2	242	0,396	0,005	
2	243	0,396	0,005	
2	244	0,396	0,005	
2	245	0,396	0,005	
2	246	0,396	0,005	
2	247	0,399	0,002	
2	248	0,399	0,002	
2	249	0,399	0,002	
2	250	0,403	0,012	169
2	251	0,403	0,012	
2	252	0,399	0,002	
2	253	0,398	0,000	
2	254	0,397	0,002	
2	255	0,397	0,002	
2	256	0,394	0,010	
2	257	0,398	0,000	
2	258	0,398	0,000	
2	259	0,398	0,000	170

### Д.3 Теоретичне дослідження впливу густини теплового потоку на кінетику сушіння картону, наповненого цеолітом

Теоретичне дослідження проводилось в програмі QBasic дані з якої зчитувались в програму Microsoft Excel.

Дослідження здійснювали за наступних умов:

- температура навколишнього середовища, °C 24
- відносна вологість повітря, % 70
- початкова температура зразків картону, °C 20-30

Таблиця Д.3 – Кінетичні закономірності сушіння

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °C
1	0	1,42	20
1	1,039951	1,419691	30,27178
1	2,080098	1,41885	39,60502
1	3,120795	1,417243	47,81434
1	4,161307	1,414571	54,77059
1	5,200812	1,410773	60,44204
1	6,240317	1,405917	64,89651
1	7,279822	1,400196	68,27964
1	8,319327	1,393777	70,77741
1	9,358832	1,386845	72,57986
1	10,39834	1,379692	73,85886
1	11,43784	1,372217	74,75467
1	12,47735	1,364469	75,37582
1	13,51685	1,35672	75,80534
1	14,55636	1,348971	76,10069
1	15,59586	1,341223	76,30211
1	16,63537	1,333474	76,44103
1	17,67487	1,325726	76,53496
1	18,71438	1,317977	76,60149
1	19,75388	1,310228	76,64621
1	20,79339	1,30248	76,67931

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °C
1	21,83289	1,294731	76,69843
1	22,8724	1,286983	76,71746
1	23,9119	1,279234	76,7345
1	24,95141	1,271485	76,73717
1	25,99091	1,263737	76,73721
1	27,03042	1,255988	76,74293
1	28,06992	1,24824	76,74419
1	29,10943	1,240491	76,74445
1	30,14893	1,232742	76,74736
1	31,18844	1,224994	76,74741
1	32,23003	1,217245	76,75152
1	33,27908	1,209496	76,75333
1	34,32812	1,201748	76,75793
1	35,37716	1,193999	76,75803
1	36,4262	1,186251	76,75968
1	37,47524	1,178502	76,76439
1	38,52428	1,170753	76,76666
1	39,57333	1,163005	76,76907
1	40,62237	1,155256	76,77012
1	41,67141	1,147508	76,7742
1	42,72045	1,139759	76,77608



Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	43,76949	1,13201	76,7767
1	44,81853	1,124262	76,78321
1	45,86758	1,116513	76,78505
1	46,91662	1,108765	76,7887
1	47,96566	1,101016	76,78877
1	49,0147	1,093267	76,79408
1	50,06374	1,085519	76,79807
1	51,11279	1,07777	76,79812
1	52,16183	1,070022	76,79837
1	53,21087	1,062273	76,80013
1	54,25991	1,054524	76,80305
1	55,30895	1,046776	76,80488
1	56,35799	1,039027	76,8093
1	57,40704	1,031279	76,814
1	58,45608	1,02353	76,81705
1	59,50512	1,015781	76,81862
1	60,55416	1,008033	76,81992
1	61,6032	1,000284	76,82348
1	62,65224	0,992457	76,82787
1	63,70129	0,984587	76,82818
1	64,73669	0,976699	76,83133
1	65,76665	0,968788	76,8314
1	66,79662	0,960877	76,83505
1	67,82659	0,95295	76,83865
1	68,85656	0,945011	76,84402
1	69,88653	0,937073	76,84411
1	70,9165	0,929112	76,8517
1	71,94646	0,921147	76,8544
1	72,97643	0,913155	76,85452
1	74,0064	0,905146	76,8547
1	75,03637	0,897126	76,85907
1	76,06634	0,889107	76,85909
1	77,09631	0,881069	76,86403
1	78,12627	0,873022	76,86819
1	79,15624	0,864975	76,86956
1	80,18621	0,856929	76,86962
1	81,21618	0,848882	76,87369
1	82,24615	0,840835	76,88025
1	83,27612	0,832789	76,88623
1	84,30608	0,824742	76,88635

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	85,33605	0,816696	76,88959
1	86,36602	0,808649	76,89256
1	87,39599	0,800602	76,89594
1	88,42596	0,792556	76,89618
1	89,45592	0,784509	76,89627
1	90,48589	0,776462	76,90108
1	91,51586	0,768416	76,90277
1	92,54583	0,760369	76,91044
1	93,5758	0,752322	76,91054
1	94,60577	0,744276	76,91685
1	95,63573	0,736229	76,92474
1	96,6657	0,728183	76,92506
1	97,69567	0,720136	76,92517
1	98,72564	0,712089	76,92532
1	99,75561	0,704043	76,92934
1	100,7856	0,695996	76,93138
1	101,8155	0,68795	76,93409
1	102,8455	0,679903	76,93831
1	103,8755	0,671856	76,94187
1	104,9054	0,66381	76,94891
1	105,9354	0,655763	76,94909
1	106,9654	0,647716	76,95377
1	107,9954	0,63967	76,95882
1	109,0253	0,631623	76,95899
1	110,0553	0,623577	76,96336
1	111,0853	0,61553	76,964
1	112,1152	0,607483	76,96697
1	113,1452	0,599437	76,97356
1	114,1752	0,59139	76,97871
1	115,2051	0,583343	76,98212
1	116,2351	0,575297	76,98644
1	117,2651	0,56725	76,98853
1	118,295	0,559203	76,98934
1	119,325	0,551157	76,99007
1	120,355	0,54311	76,99516
1	121,3849	0,535064	77,00157
1	122,4149	0,527017	77,00194
1	123,4449	0,51897	77,00957
1	124,4748	0,510924	77,01321
1	125,5048	0,502877	77,01775

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	126,5348	0,494831	77,01825
1	127,5648	0,486784	77,02035
1	128,6167	0,478737	77,02343
1	129,6849	0,470691	77,0287
1	130,753	0,462644	77,03718
1	131,8211	0,454597	77,03765
1	132,8892	0,446551	77,04448
1	133,9573	0,438504	77,04565
1	135,0254	0,430458	77,04679
1	136,0936	0,422411	77,05189
1	137,1617	0,414364	77,0551
1	138,2298	0,406318	77,06046
1	139,2979	0,399999	77,06452
1	140,366	0,392043	77,06688
1	141,4341	0,384245	77,07404
1	142,5022	0,376603	77,07427
1	143,5704	0,369113	77,08083
1	144,6385	0,361772	77,08439
1	145,7066	0,354579	77,08823
1	146,7747	0,347528	77,09233
1	147,8428	0,340618	77,0966
1	148,9109	0,333845	77,10036
1	149,979	0,327205	77,10223
1	151,0472	0,320694	77,11078
1	152,1153	0,314309	77,11304
1	153,1834	0,308051	77,11583
1	154,2515	0,301936	77,12122
1	155,3196	0,295938	77,12526
1	156,3877	0,290053	77,13036
1	157,4559	0,284276	77,134
1	158,524	0,278614	77,13792
1	159,5921	0,273088	77,1441
1	160,6602	0,26766	77,1487
1	161,7283	0,262325	77,15157
1	162,7964	0,257109	77,1549
1	163,8645	0,252009	77,16087
1	164,9327	0,246984	77,16411
1	166,0008	0,242075	77,1727
1	167,0689	0,237262	77,1755
1	168,137	0,232541	77,17902

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	169,2051	0,227914	77,18329
1	170,2732	0,223385	77,18969
1	171,3414	0,218944	77,19415
1	172,4095	0,214589	77,19633
1	173,4776	0,210319	77,20322
1	174,5457	0,206134	77,20941
1	175,6138	0,202035	77,21387
1	176,6819	0,198017	77,21803
1	177,75	0,19408	77,22272
1	178,8182	0,190221	77,2314
1	179,8863	0,186438	77,23551
1	180,9544	0,18273	77,23959
1	182,0225	0,179096	77,24493
1	183,0906	0,175534	77,2524
1	184,1587	0,172042	77,25591
1	185,2269	0,16862	77,25963
1	186,295	0,165266	77,26836
1	187,3631	0,16198	77,27343
1	188,4312	0,158762	77,27496
1	189,4993	0,155606	77,28426
1	190,5674	0,152511	77,29033
1	191,2004	0,149475	77,29179
1	192,2685	0,146501	79,32469
1	193,3366	0,143589	81,34591
1	194,4047	0,140737	83,36596
1	195,4729	0,137937	85,36766
1	196,541	0,13519	87,35114
1	197,6091	0,132503	89,3195
1	198,6772	0,129872	91,26354
1	199,7453	0,127285	93,17902
1	200,8134	0,124758	95,0698
1	201,8815	0,122273	96,93048
1	202,9497	0,119841	98,75746
1	204,0178	0,117458	100,5508
1	205,0859	0,115122	102,3091
1	206,154	0,112832	104,0311
1	207,2221	0,110588	105,716
1	208,2902	0,10839	107,3636
1	209,3584	0,106234	108,9734
1	210,4265	0,104121	110,5456

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	211,4946	0,10205	112,0792
1	212,5627	0,100021	113,5757
1	213,6308	9,80E-02	115,0337
1	214,6989	9,61E-02	116,4547
1	215,767	9,42E-02	117,8385
1	216,8352	0,092298	119,186
1	217,9033	9,05E-02	120,498
1	218,9714	8,87E-02	121,775
1	220,0395	0,0869	123,019
1	221,1076	8,52E-02	124,2294
1	222,1757	8,35E-02	125,4066
1	223,2439	8,18E-02	126,5523
1	224,312	8,02E-02	127,6645
1	225,3801	7,86E-02	128,7421
1	226,4482	7,70E-02	129,8069
1	227,5163	7,55E-02	130,8316
1	228,5844	7,40E-02	131,8231
1	229,6525	7,25E-02	132,8069
1	230,7207	7,11E-02	133,7494
1	231,7888	6,97E-02	134,6646
1	232,8569	0,068286	135,5744
1	233,925	6,69E-02	136,4465
1	234,9931	6,56E-02	137,2862
1	236,0612	6,43E-02	138,1248
1	237,1293	6,30E-02	138,9374
1	238,1975	6,18E-02	139,7181
1	239,2656	6,05E-02	140,4807
1	240,3337	5,93E-02	141,2429
1	241,4018	5,81E-02	141,9755
1	242,4699	5,70E-02	142,6802
1	243,538	0,05586	143,3666
1	244,6062	5,47E-02	144,0527
1	245,6743	5,37E-02	144,7295
1	246,7424	5,26E-02	145,3779
1	247,8105	5,15E-02	145,9968
1	248,8786	5,05E-02	146,6068
1	249,9467	4,95E-02	147,2167
1	251,0148	4,85E-02	147,8252
1	252,083	4,76E-02	148,4025
1	253,1511	4,66E-02	148,9657

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	254,2192	4,57E-02	149,5018
1	255,2873	4,48E-02	150,0356
1	256,3554	4,39E-02	150,5692
1	257,4235	4,30E-02	151,1027
1	258,4916	4,22E-02	151,6169
1	259,5598	4,13E-02	152,1125
1	260,6279	4,05E-02	152,5945
1	261,696	3,97E-02	153,0525
1	262,7641	3,89E-02	153,5101
1	263,8322	3,81E-02	153,9675
1	264,9003	3,74E-02	154,4248
1	265,9684	3,66E-02	154,882
1	267,0366	3,59E-02	155,3168
1	268,1047	3,52E-02	155,7362
1	269,1728	3,45E-02	156,1522
1	270,2409	3,38E-02	156,5387
1	271,309	3,31E-02	156,9204
1	272,3771	3,25E-02	157,3018
1	273,4453	3,18E-02	157,683
1	274,5134	3,12E-02	158,0641
1	275,5815	0,030577	158,4451
1	276,6496	3,00E-02	158,826
1	277,7177	2,94E-02	159,1887
1	278,7858	2,88E-02	159,5322
1	279,8539	0,028216	159,8751
1	280,9221	2,77E-02	160,21
1	281,9902	2,71E-02	160,5214
1	283,0583	2,66E-02	160,8268
1	284,1264	0,026037	161,1322
1	285,1945	2,55E-02	161,4373
1	286,2626	2,50E-02	161,7423
1	287,3307	2,45E-02	162,0472
1	288,3989	2,40E-02	162,352
1	289,467	2,35E-02	162,6568
1	290,5351	2,31E-02	162,9615
1	291,6032	2,26E-02	163,2561
1	292,6713	2,22E-02	163,5258
1	293,7394	2,17E-02	163,7928
1	294,8076	2,13E-02	164,0593
1	295,8757	2,09E-02	164,3229

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
1	296,9438	2,05E-02	164,5695
1	298,0119	2,01E-02	164,8003
1	299,08	1,97E-02	165,0305
1	300,1481	1,93E-02	165,2598
1	301,2162	1,89E-02	165,4889
1	302,2844	1,85E-02	165,7179
1	303,3525	1,81E-02	165,9467
1	304,4206	1,78E-02	166,1755
1	305,4887	1,74E-02	166,4041
1	306,5568	1,71E-02	166,6328
1	307,6249	1,67E-02	166,8613
1	308,6931	0,016405	167,0898
1	309,7612	1,61E-02	167,3183
1	310,8293	1,58E-02	167,5449
1	311,8974	1,54E-02	167,746
1	312,9655	1,51E-02	167,9382
1	314,0336	1,48E-02	168,129
1	315,1017	1,45E-02	168,3196
1	316,1699	0,014252	168,5101
1	317,238	1,40E-02	168,6995
1	318,3061	1,37E-02	168,8759
1	319,3742	1,34E-02	169,044
1	320,4423	1,32E-02	169,2067
1	321,5104	0,012891	169,3654
1	322,5786	1,26E-02	169,522
2	0	1,42	20
2	1,039951	1,419702	33,26917
2	2,080098	1,41888	45,19071
2	3,120795	1,417319	55,41193
2	4,161307	1,414687	63,70514
2	5,200812	1,41098	70,05929
2	6,240317	1,406264	74,67514
2	7,279822	1,400648	77,88141
2	8,319327	1,39438	80,03335
2	9,358832	1,387708	81,44273
2	10,39834	1,380556	82,35046
2	11,43784	1,373403	82,92848
2	12,47735	1,36616	83,29458
2	13,51685	1,358411	83,5265
2	14,55636	1,350663	83,67126

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	15,59586	1,342914	83,76338
2	16,63537	1,335165	83,82359
2	17,67487	1,327417	83,86189
2	18,71438	1,319668	83,88624
2	19,75388	1,31192	83,9053
2	20,79339	1,304171	83,91281
2	21,83289	1,296422	83,92487
2	22,8724	1,288674	83,92935
2	23,9119	1,280925	83,92947
2	24,95141	1,273177	83,92957
2	25,99091	1,265428	83,93563
2	27,03042	1,257679	83,93655
2	28,06992	1,249931	83,93663
2	29,10943	1,242182	83,94588
2	30,14893	1,234434	83,94933
2	31,18844	1,226685	83,95351
2	32,23003	1,218936	83,95412
2	33,27908	1,211188	83,96166
2	34,32812	1,203439	83,96178
2	35,37716	1,195691	83,96347
2	36,4262	1,187942	83,97211
2	37,47524	1,180193	83,97284
2	38,52428	1,172445	83,97685
2	39,57333	1,164696	83,98061
2	40,62237	1,156947	83,98075
2	41,67141	1,149199	83,98245
2	42,72045	1,14145	83,98962
2	43,76949	1,133702	83,99033
2	44,81853	1,125953	83,99457
2	45,86758	1,118204	84,00023
2	46,91662	1,110456	84,00214
2	47,96566	1,102707	84,00838
2	49,0147	1,094959	84,0118
2	50,06374	1,08721	84,01521
2	51,11279	1,079461	84,02112
2	52,16183	1,071713	84,0239
2	53,21087	1,063964	84,02589
2	54,25991	1,056216	84,02898
2	55,30895	1,048467	84,0325
2	56,35799	1,040718	84,03861

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	57,40704	1,03297	84,04165
2	58,45608	1,025221	84,0436
2	59,50512	1,017473	84,04913
2	60,55416	1,009724	84,05617
2	61,6032	1,001975	84,06065
2	62,65224	0,9942268	84,06319
2	63,70129	0,9864782	84,06628
2	64,73669	0,9787296	84,07013
2	65,76665	0,970981	84,07414
2	66,79662	0,9632324	84,08012
2	67,82659	0,9554838	84,08222
2	68,85656	0,9477352	84,08475
2	69,88653	0,9399866	84,09055
2	70,9165	0,932238	84,09641
2	71,94646	0,9244894	84,1029
2	72,97643	0,9167408	84,10517
2	74,0064	0,9089922	84,11175
2	75,03637	0,9012436	84,11679
2	76,06634	0,893495	84,12088
2	77,09631	0,8857464	84,12187
2	78,12627	0,8779978	84,12701
2	79,15624	0,8702492	84,13241
2	80,18621	0,8625005	84,13531
2	81,21618	0,8547519	84,14333
2	82,24615	0,8470033	84,14654
2	83,27612	0,8392547	84,1535
2	84,30608	0,8315061	84,1553
2	85,33605	0,8237575	84,16112
2	86,36602	0,8160089	84,16544
2	87,39599	0,8082603	84,16949
2	88,42596	0,8005117	84,17503
2	89,45592	0,7927631	84,17912
2	90,48589	0,7850145	84,18784
2	91,51586	0,7772659	84,19302
2	92,54583	0,7695173	84,19453
2	93,5758	0,7617687	84,20139
2	94,60577	0,7540201	84,20876
2	95,63573	0,7462715	84,20898
2	96,6657	0,7385229	84,21467
2	97,69567	0,7307743	84,22248

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	98,72564	0,7230256	84,22652
2	99,75561	0,715277	84,23255
2	100,7856	0,7075284	84,23876
2	101,8155	0,6997798	84,24228
2	102,8455	0,6920312	84,24662
2	103,8755	0,6842826	84,25374
2	104,9054	0,676534	84,25948
2	105,9354	0,6687854	84,26781
2	106,9654	0,6610368	84,27171
2	107,9954	0,6532882	84,27643
2	109,0253	0,6455396	84,28371
2	110,0553	0,637791	84,28759
2	111,0853	0,6300424	84,29717
2	112,1152	0,6222938	84,30192
2	113,1452	0,6145452	84,3064
2	114,1752	0,6067966	84,31342
2	115,2051	0,599048	84,31856
2	116,2351	0,5912994	84,32661
2	117,2651	0,5835508	84,33228
2	118,295	0,5758021	84,33921
2	119,325	0,5680535	84,34481
2	120,355	0,5603049	84,35078
2	121,3849	0,5525563	84,35802
2	122,4149	0,5448077	84,36608
2	123,4449	0,5370591	84,37027
2	124,4748	0,5293105	84,37667
2	125,5048	0,5215619	84,38336
2	126,5348	0,5138133	84,39261
2	127,5648	0,5060647	84,39729
2	128,6167	0,498316	84,40385
2	129,6849	0,4905674	84,41058
2	130,753	0,4828188	84,41904
2	131,8211	0,4750638	84,42697
2	132,8892	0,467283	84,43336
2	133,9573	0,4594823	84,44029
2	135,0254	0,451666	84,45174
2	136,0936	0,443842	84,45804
2	137,1617	0,4360121	84,46609
2	138,2298	0,4281711	84,47443
2	139,2979	0,4203268	84,4844

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	140,366	0,4124698	84,49255
2	141,4341	0,4046128	84,49976
2	142,0605	0,3999991	84,50662
2	143,1286	0,3922381	86,67309
2	144,1967	0,3846283	88,90414
2	145,2648	0,3771667	91,20026
2	146,3329	0,3698515	93,54713
2	147,401	0,3626794	95,9348
2	148,4692	0,3556468	98,34907
2	149,5373	0,3487505	100,7887
2	150,6054	0,3419868	103,2297
2	151,6735	0,3353522	105,6709
2	152,7416	0,3288426	108,1113
2	153,8097	0,3224542	110,5397
2	154,8779	0,3161958	112,9432
2	155,946	0,3100733	115,3199
2	157,0141	0,3040633	117,6662
2	158,0822	0,2981613	119,976
2	159,1503	0,2923622	122,2453
2	160,2184	0,2866998	124,4715
2	161,2865	0,2811476	126,6512
2	162,3547	0,2756879	128,7859
2	163,4228	0,2703235	130,8597
2	164,4909	0,2650995	132,8904
2	165,559	0,2599562	134,8674
2	166,6271	0,2548898	136,7853
2	167,6952	0,2499699	138,6526
2	168,7634	0,2451159	140,4706
2	169,8315	0,2403654	142,2295
2	170,8996	0,2357036	143,934
2	171,9677	0,2311295	145,5956
2	173,0358	0,226642	147,1987
2	174,1039	0,2222441	148,7481
2	175,172	0,2179357	150,2592
2	176,2402	0,2137096	151,7121
2	177,3083	0,2095646	153,1226
2	178,3764	0,2054995	154,4919
2	179,4445	0,201513	155,8063
2	180,5126	0,1976037	157,091
2	181,5807	0,1937703	158,321

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	182,6488	0,1900113	159,5256
2	183,717	0,1863253	160,6762
2	184,7851	0,1827107	161,8047
2	185,8532	0,1791658	162,8814
2	186,9213	0,1756891	163,941
2	187,9894	0,1722787	164,9507
2	189,0575	0,1689328	165,9416
2	190,1257	0,1656547	166,898
2	191,1938	0,1624458	167,8141
2	192,2619	0,1592975	168,7211
2	193,33	0,1562077	169,583
2	194,3981	0,1531742	170,4217
2	195,4662	0,150197	171,2501
2	196,5343	0,1472889	172,0373
2	197,6025	0,1444353	172,7999
2	198,6706	0,1416306	173,5615
2	199,7387	0,1388761	174,2879
2	200,8068	0,13619	174,9783
2	201,8749	0,1335494	175,6643
2	202,943	0,13095	176,3444
2	204,0112	0,128416	176,9906
2	205,0793	0,1259275	177,6025
2	206,1474	0,1234848	178,2124
2	207,2155	0,1210878	178,8219
2	208,2836	0,1187385	179,4046
2	209,3517	0,1164359	179,9615
2	210,4198	0,1141778	180,4957
2	211,488	0,1119626	181,0292
2	212,5561	0,1097897	181,5625
2	213,6242	0,1076589	182,0775
2	214,6923	0,1055703	182,5711
2	215,7604	0,1035224	183,0347
2	216,8285	0,1015142	183,4925
2	217,8967	9,95E-02	183,9498
2	218,9648	9,76E-02	184,4069
2	220,0329	9,57E-02	184,8585
2	221,101	0,0938631	185,279
2	222,1691	9,20E-02	185,6913
2	223,2372	9,03E-02	186,0744
2	224,3053	8,85E-02	186,456

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	225,3735	8,68E-02	186,8372
2	226,4416	8,51E-02	187,2182
2	227,5097	8,35E-02	187,599
2	228,5778	8,18E-02	187,9727
2	229,6459	8,02E-02	188,3163
2	230,714	0,0786904	188,659
2	231,7822	7,72E-02	188,9767
2	232,8503	7,57E-02	189,2827
2	233,9184	0,0742014	189,5881
2	234,9865	7,28E-02	189,8932
2	236,0546	7,13E-02	190,198
2	237,1227	7,00E-02	190,5027
2	238,1908	6,86E-02	190,8073
2	239,259	6,73E-02	191,11
2	240,3271	6,60E-02	191,3849
2	241,3952	6,47E-02	191,6518
2	242,4633	6,34E-02	191,9174
2	243,5314	6,22E-02	192,1626
2	244,5995	6,10E-02	192,3956
2	245,6676	5,98E-02	192,6251
2	246,7358	5,87E-02	192,8543
2	247,8039	5,75E-02	193,0832
2	248,872	5,64E-02	193,312
2	249,9401	0,0553092	193,5407
2	251,0082	5,42E-02	193,7692
2	252,0763	5,32E-02	193,9977
2	253,1445	5,22E-02	194,226
2	254,2126	5,11E-02	194,4521
2	255,2807	5,01E-02	194,6531
2	256,3488	4,92E-02	194,8446
2	257,4169	4,82E-02	195,0352
2	258,485	0,0472858	195,2255
2	259,5531	4,64E-02	195,4086
2	260,6212	4,55E-02	195,574
2	261,6894	4,46E-02	195,7337
2	262,7575	0,0437224	195,8903
2	263,8256	4,29E-02	196,0444
2	264,8937	0,0420423	196,1975
2	265,9618	4,12E-02	196,3505
2	267,0299	4,04E-02	196,5034

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	268,0981	3,96E-02	196,6561
2	269,1662	3,89E-02	196,8087
2	270,2343	3,81E-02	196,9612
2	271,3024	3,74E-02	197,1135
2	272,3705	3,67E-02	197,2659
2	273,4386	3,59E-02	197,4182
2	274,5067	3,52E-02	197,5704
2	275,5749	3,46E-02	197,7226
2	276,643	3,39E-02	197,8745
2	277,7111	3,32E-02	198,0084
2	278,7792	3,26E-02	198,127
2	279,8473	3,20E-02	198,2423
2	280,9154	3,13E-02	198,3573
2	281,9836	3,07E-02	198,4717
2	283,0517	3,01E-02	198,586
2	284,1198	2,96E-02	198,7002
2	285,1879	2,90E-02	198,8134
2	286,256	2,84E-02	198,921
2	287,3241	2,79E-02	199,0208
2	288,3922	2,73E-02	199,1136
2	289,4604	2,68E-02	199,2033
2	290,5285	2,63E-02	199,2934
2	291,5966	2,58E-02	199,3813
2	292,6647	2,53E-02	199,4672
2	293,7328	2,48E-02	199,5493
2	294,8009	2,43E-02	199,6326
2	295,869	2,38E-02	199,7161
2	296,9372	2,34E-02	199,795
2	298,0053	2,29E-02	199,8726
2	299,0734	2,25E-02	199,9494
2	300,1415	2,20E-02	200,0276
2	301,2096	2,16E-02	200,1047
2	302,2777	2,12E-02	200,1811
2	303,3459	2,08E-02	200,2577
2	304,414	0,0203659	200,3341
2	305,4821	2,00E-02	200,4105
2	306,5502	1,96E-02	200,4868
2	307,6183	1,92E-02	200,5632
2	308,6864	1,88E-02	200,6394
2	309,7545	1,85E-02	200,7156

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
2	310,8227	1,81E-02	200,7918
2	311,8908	1,78E-02	200,8679
2	312,9589	1,74E-02	200,9441
2	314,027	1,71E-02	201,0202
2	315,0951	1,67E-02	201,0963
2	316,1632	1,64E-02	201,1724
2	317,2314	1,61E-02	201,2484
2	318,2995	1,58E-02	201,3245
2	319,3676	1,55E-02	201,3894
2	320,4357	1,52E-02	201,4447
2	321,5038	1,49E-02	201,4928
2	322,5719	1,46E-02	201,5437
3	0	1,42	20
3	1,039951	1,419597	40,30075
3	2,080098	1,418025	57,99909
3	3,120795	1,414575	72,08198
3	4,161307	1,408691	82,10828
3	5,200812	1,400507	88,51936
3	6,240317	1,390524	92,28661
3	7,279822	1,379429	94,37894
3	8,319327	1,367619	95,50362
3	9,358832	1,355551	96,09715
3	10,39834	1,343034	96,40906
3	11,43784	1,330518	96,57261
3	12,47735	1,318	96,66023
3	13,51685	1,305484	96,70676
3	14,55636	1,292966	96,73383
3	15,59586	1,28045	96,75294
3	16,63537	1,267933	96,76561
3	17,67487	1,255416	96,76938
3	18,71438	1,242899	96,77561
3	19,75388	1,230382	96,78411
3	20,79339	1,217865	96,78843
3	21,83289	1,205348	96,79364
3	22,8724	1,192831	96,80007
3	23,9119	1,180314	96,80662
3	24,95141	1,167797	96,81268
3	25,99091	1,15528	96,81865
3	27,03042	1,142763	96,82482
3	28,06992	1,130246	96,83321

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
3	29,10943	1,117729	96,8391
3	30,14893	1,105212	96,84586
3	31,18844	1,092695	96,8539
3	32,23003	1,080178	96,85813
3	33,27908	1,067661	96,86408
3	34,32812	1,055144	96,87147
3	35,37716	1,042627	96,87687
3	36,4262	1,03011	96,8842
3	37,47524	1,017593	96,89201
3	38,52428	1,005076	96,89881
3	39,57333	0,992559	96,90621
3	40,62237	0,980042	96,91267
3	41,67141	0,967488	96,92116
3	42,72045	0,954881	96,92998
3	43,76949	0,942242	96,9387
3	44,81853	0,929589	96,94694
3	45,86758	0,916913	96,95476
3	46,91662	0,904234	96,96445
3	47,96566	0,891527	96,97314
3	49,0147	0,878821	96,98138
3	50,06374	0,866089	96,99005
3	51,11279	0,853355	96,99884
3	52,16183	0,840599	97,00778
3	53,21087	0,827826	97,01751
3	54,25991	0,815036	97,02818
3	55,30895	0,802222	97,03647
3	56,35799	0,789406	97,04668
3	57,40704	0,776592	97,05579
3	58,45608	0,763776	97,06551
3	59,50512	0,750962	97,07511
3	60,55416	0,738146	97,08517
3	61,6032	0,725332	97,09576
3	62,65224	0,712516	97,10459
3	63,70129	0,699702	97,11346
3	64,73669	0,686886	97,12383
3	65,76665	0,674072	97,13438
3	66,79662	0,661256	97,14466
3	67,82659	0,648442	97,15688
3	68,85656	0,635626	97,16778
3	69,88653	0,622812	97,17905



Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
3	70,9165	0,609996	97,19058
3	71,94646	0,597182	97,20164
3	72,97643	0,584366	97,21171
3	74,0064	0,571552	97,22357
3	75,03637	0,558736	97,23674
3	76,06634	0,545922	97,24845
3	77,09631	0,533106	97,26139
3	78,12627	0,520292	97,27422
3	79,15624	0,507476	97,2874
3	80,18621	0,494662	97,29854
3	81,21618	0,481847	97,31238
3	82,24615	0,469032	97,3262
3	83,27612	0,456217	97,3404
3	84,30608	0,443402	97,35455
3	85,33605	0,430587	97,36806
3	86,36602	0,417772	97,38216
3	87,39599	0,404935	97,39782
3	87,79129	0,399998	97,40413
3	88,82126	0,387334	99,87592
3	89,85123	0,375073	102,7262
3	90,8812	0,363193	105,9193
3	91,91116	0,351698	109,4075
3	92,94113	0,340558	113,144
3	93,9711	0,32978	117,0837
3	95,00107	0,31934	121,1845
3	96,03104	0,309227	125,4054
3	97,061	0,299435	129,711
3	98,09097	0,289953	134,0582
3	99,12094	0,280773	138,408
3	100,1509	0,271885	142,7552
3	101,1809	0,26328	147,0684
3	102,2108	0,254945	151,3185
3	103,2408	0,246869	155,4852
3	104,2708	0,239054	159,5573
3	105,3008	0,231486	163,5137
3	106,3307	0,224156	167,3517
3	107,3607	0,217059	171,0569
3	108,3907	0,210186	174,6257
3	109,4206	0,203532	178,0562
3	110,4506	0,197088	181,3455

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
3	111,4806	0,190847	184,4925
3	112,5105	0,184805	187,4975
3	113,5405	0,178954	190,3624
3	114,5705	0,173288	193,0888
3	115,6004	0,167802	195,6838
3	116,6304	0,162489	198,1517
3	117,6604	0,157345	200,4908
3	118,6903	0,152363	202,716
3	119,7203	0,147539	204,8215
3	120,7503	0,142867	206,8239
3	121,7802	0,138344	208,7183
3	122,8102	0,133965	210,5149
3	123,8402	0,129724	212,2209
3	124,8701	0,125616	213,8399
3	125,9001	0,121639	215,374
3	126,9301	0,117788	216,8292
3	127,9601	0,114059	218,2105
3	129,0267	0,110448	219,5198
3	130,0948	0,106951	220,7642
3	131,1629	0,103565	221,9505
3	132,231	0,100286	223,0822
3	133,2991	9,71E-02	224,152
3	134,3673	9,40E-02	225,1687
3	135,4354	9,11E-02	226,1483
3	136,5035	8,82E-02	227,0686
3	137,5716	8,54E-02	227,9593
3	138,6397	8,27E-02	228,798
3	139,7078	8,01E-02	229,6088
3	140,776	7,75E-02	230,3718
3	141,8441	7,51E-02	231,1161
3	142,9122	7,27E-02	231,8085
3	143,9803	7,04E-02	232,4933
3	145,0484	0,068166	233,1323
3	146,1165	6,60E-02	233,7423
3	147,1846	6,39E-02	234,3477
3	148,2528	6,19E-02	234,9071
3	149,3209	5,99E-02	235,4411
3	150,389	5,80E-02	235,9741
3	151,4571	5,62E-02	236,4792
3	152,5252	5,44E-02	236,9452

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °C
3	153,5933	5,27E-02	237,4026
3	154,6615	5,10E-02	237,8593
3	155,7296	4,94E-02	238,2894
3	156,7977	4,78E-02	238,688
3	157,8658	4,63E-02	239,0698
3	158,9339	4,49E-02	239,4508
3	160,002	4,34E-02	239,8312
3	161,0701	4,21E-02	240,185
3	162,1383	4,07E-02	240,5185
3	163,2064	3,95E-02	240,8247
3	164,2745	3,82E-02	241,1299
3	165,3426	3,70E-02	241,4347
3	166,4107	0,035821	241,7391
3	167,4788	3,47E-02	242,0313
3	168,547	0,033589	242,2984
3	169,6151	3,25E-02	242,5524
3	170,6832	3,15E-02	242,7831
3	171,7513	3,05E-02	243,0125
3	172,8194	2,95E-02	243,2414
3	173,8875	2,86E-02	243,47
3	174,9556	2,77E-02	243,6983
3	176,0238	2,68E-02	243,9265
3	177,0919	2,60E-02	244,1336
3	178,16	2,51E-02	244,3243
3	179,2281	2,43E-02	244,5126
3	180,2962	2,36E-02	244,6782
3	181,3643	2,28E-02	244,8333
3	182,4324	2,21E-02	244,9874
3	183,5006	2,14E-02	245,1406
3	184,5687	2,07E-02	245,2934
3	185,6368	2,01E-02	245,4459
3	186,7049	1,94E-02	245,5983
3	187,773	1,88E-02	245,7506
3	188,8411	1,82E-02	245,9027
3	189,9093	1,77E-02	246,0548
3	190,9774	1,71E-02	246,1917
3	192,0455	1,66E-02	246,3081
3	193,1136	1,60E-02	246,4228
3	194,1817	1,55E-02	246,537
3	195,2498	0,015028	246,6497

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °C
3	196,3179	1,46E-02	246,7509
3	197,3861	1,41E-02	246,8427
3	198,4542	0,013645	246,9306
3	199,5223	0,013213	247,0135
3	200,5904	1,28E-02	247,0961
3	201,6585	1,24E-02	247,1756
3	202,7266	1,20E-02	247,2538
3	203,7948	1,16E-02	247,3307
3	204,8629	1,13E-02	247,4074
3	205,931	1,09E-02	247,4841
3	206,9991	1,05E-02	247,5606
3	208,0672	1,02E-02	247,637
3	209,1353	9,89E-03	247,7133
3	210,2034	9,58E-03	247,7895
3	211,2716	9,28E-03	247,8656
3	212,3397	8,98E-03	247,9418
3	213,4078	8,70E-03	248,0179
3	214,4759	8,42E-03	248,094
3	215,544	8,16E-03	248,17
3	216,6121	7,90E-03	248,2447
3	217,6803	7,65E-03	248,2955
3	218,7484	7,41E-03	248,3426
3	219,8165	0,007171	248,3871
3	220,8846	6,94E-03	248,4303
3	221,9527	6,72E-03	248,4758
3	223,0208	6,51E-03	248,5155
3	224,0889	6,30E-03	248,5552
3	225,1571	6,11E-03	248,595
3	226,2252	5,91E-03	248,6332
3	227,2933	5,72E-03	248,6716
3	228,3614	5,54E-03	248,7097
3	229,4295	5,37E-03	248,7479
3	230,4976	5,20E-03	248,786
3	231,5658	5,03E-03	248,8241
3	232,6339	4,87E-03	248,8621
3	233,702	4,72E-03	248,8983
3	234,7701	4,57E-03	248,9312
3	235,8382	4,43E-03	248,9599
3	236,9063	4,29E-03	248,9857
3	237,9744	4,15E-03	249,0093

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
3	239,0426	4,02E-03	249,036
3	240,1107	3,89E-03	249,06
3	241,1788	3,77E-03	249,0822
3	242,2469	3,65E-03	249,1029
3	243,315	3,53E-03	249,1261
3	244,3831	3,42E-03	249,1459
3	245,4512	3,31E-03	249,1646
3	246,5194	3,21E-03	249,1847
3	247,5875	3,11E-03	249,2046
3	248,6556	3,01E-03	249,2217
3	249,7237	2,91E-03	249,2366
3	250,7918	2,82E-03	249,256
3	251,8599	2,73E-03	249,2703
3	252,9281	2,65E-03	249,2941
3	253,9962	2,56E-03	249,304
3	255,0643	2,48E-03	249,3198
3	256,1324	2,40E-03	249,3304
3	257,2005	2,33E-03	249,3472
3	258,2686	2,25E-03	249,3576
3	259,3367	2,18E-03	249,3797
3	260,4048	2,11E-03	249,3853
3	261,473	2,05E-03	249,4023
3	262,5411	1,98E-03	249,4105
3	263,6092	1,92E-03	249,4159
3	264,6773	1,86E-03	249,4348
3	265,7454	1,80E-03	249,4461
3	266,8135	1,74E-03	249,453
3	267,8817	1,69E-03	249,4674
3	268,9498	1,63E-03	249,4736
3	270,0179	1,58E-03	249,4859
3	271,086	1,53E-03	249,4919
3	272,1541	1,48E-03	249,502
3	273,2222	1,44E-03	249,5117
3	274,2903	1,39E-03	249,5134
3	275,3585	1,35E-03	249,5354
3	276,4266	1,30E-03	249,5355
3	277,4947	1,26E-03	249,537
3	278,5628	1,22E-03	249,5469
3	279,6309	0,001184	249,562
3	280,699	1,15E-03	249,562

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
3	281,7672	1,11E-03	249,5777
3	282,8353	1,07E-03	249,5848
3	283,9034	1,04E-03	249,5849
3	284,9715	1,01E-03	249,587
3	286,0396	9,76E-04	249,5932
3	287,1077	9,45E-04	249,6014
3	288,1758	9,15E-04	249,6056
3	289,244	8,86E-04	249,6056
3	290,3121	8,58E-04	249,6153
3	291,3802	8,31E-04	249,6177
3	292,4483	8,05E-04	249,6334
3	293,5164	7,79E-04	249,6335
3	294,5845	7,54E-04	249,6336
3	295,6526	7,31E-04	249,6339
3	296,7208	7,07E-04	249,6367
3	297,7889	6,85E-04	249,6464
3	298,857	6,63E-04	249,6542
3	299,9251	6,42E-04	249,6542
3	300,9932	6,22E-04	249,6543
3	302,0613	6,02E-04	249,6628
3	303,1295	5,83E-04	249,6707
3	304,1976	5,65E-04	249,6707
3	305,2657	5,47E-04	249,6707
3	306,3338	5,30E-04	249,6707
3	307,4019	5,13E-04	249,6797
3	308,47	4,97E-04	249,6921
3	309,5381	4,81E-04	249,6921
3	310,6063	4,66E-04	249,6921
3	311,6744	4,51E-04	249,6921
3	312,7425	4,37E-04	249,6921
3	313,8106	4,23E-04	249,6922
3	314,8787	4,09E-04	249,6922
3	315,9468	3,96E-04	249,6931
3	317,015	3,84E-04	249,7011
3	318,0831	3,72E-04	249,7012
3	319,1512	3,60E-04	249,7012
3	320,2193	3,49E-04	249,7028
3	321,2874	3,38E-04	249,7106
3	322,3555	3,27E-04	249,7193
3	323,4236	3,17E-04	249,7193

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
3	324,4918	3,07E-04	249,7195
4	0	1,42	20
4	0,968977	1,419777	30,26396
4	1,938149	1,419181	39,59159
4	2,90732	1,418049	47,79771
4	3,876492	1,416346	54,75314
4	4,844623	1,413928	60,42556
4	5,812603	1,410822	64,88216
4	6,780582	1,407112	68,2679
4	7,748561	1,402927	70,76826
4	8,716541	1,398159	72,5731
4	9,684521	1,393223	73,854
4	10,6525	1,387859	74,75081
4	11,62048	1,382494	75,37372
4	12,58846	1,37713	75,80424
4	13,55644	1,371742	76,09988
4	14,52442	1,365798	76,30302
4	15,4924	1,359837	76,44112
4	16,46264	1,353877	76,53566
4	17,43539	1,347916	76,60098
4	18,40814	1,341956	76,64436
4	19,38089	1,335995	76,67752
4	20,35364	1,330035	76,69662
4	21,32638	1,324075	76,71569
4	22,29913	1,318114	76,73058
4	23,27188	1,312154	76,73521
4	24,24463	1,306193	76,74164
4	25,21737	1,300233	76,74172
4	26,19012	1,294272	76,74177
4	27,16287	1,288312	76,7466
4	28,13562	1,282351	76,74664
4	29,10837	1,276391	76,74749
4	30,08111	1,27043	76,75142
4	31,05386	1,26447	76,7573
4	32,02661	1,258509	76,75738
4	32,99936	1,252549	76,75837
4	33,9721	1,246588	76,7614
4	34,94485	1,240628	76,76398
4	35,9176	1,234668	76,76614
4	36,89035	1,228707	76,76853

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	37,86309	1,222747	76,77412
4	38,83584	1,216786	76,77417
4	39,80859	1,210826	76,7743
4	40,78134	1,204865	76,78176
4	41,75409	1,198905	76,7843
4	42,72683	1,192944	76,78771
4	43,69958	1,186984	76,78774
4	44,67233	1,181023	76,78783
4	45,64508	1,175063	76,79459
4	46,61782	1,169102	76,79673
4	47,59057	1,163142	76,7968
4	48,56332	1,157182	76,79689
4	49,53607	1,151221	76,79969
4	50,50882	1,145261	76,80371
4	51,48156	1,1393	76,80611
4	52,45431	1,13334	76,81391
4	53,42706	1,127379	76,8164
4	54,39981	1,121419	76,81655
4	55,37255	1,115458	76,81659
4	56,3453	1,109498	76,82036
4	57,31805	1,103537	76,82236
4	58,2908	1,097577	76,82566
4	59,26355	1,091616	76,82978
4	60,23629	1,085656	76,82993
4	61,20904	1,079695	76,83034
4	62,18179	1,073735	76,83572
4	63,15454	1,067775	76,84172
4	64,12479	1,061814	76,84223
4	65,07846	1,055854	76,84842
4	66,03214	1,049893	76,85285
4	66,98581	1,043933	76,85348
4	67,93948	1,037972	76,85356
4	68,89316	1,032012	76,85668
4	69,84683	1,026051	76,85677
4	70,80051	1,020091	76,86049
4	71,75418	1,01413	76,86509
4	72,70786	1,00817	76,86759
4	73,66153	1,002209	76,86891
4	74,6152	0,996249	76,87247
4	75,56888	0,990288	76,87803

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	76,52255	0,984328	76,88519
4	77,47623	0,978367	76,8858
4	78,4299	0,972407	76,8881
4	79,38358	0,966447	76,89046
4	80,33725	0,960486	76,89266
4	81,29092	0,954526	76,89488
4	82,2446	0,948565	76,89501
4	83,19827	0,942605	76,89666
4	84,15195	0,936644	76,90472
4	85,10562	0,930684	76,90794
4	86,0593	0,924723	76,91116
4	87,01297	0,918763	76,91811
4	87,96664	0,912802	76,9216
4	88,92032	0,906842	76,92384
4	89,87399	0,900881	76,92449
4	90,82767	0,894921	76,9269
4	91,78134	0,888961	76,92879
4	92,73502	0,883	76,92995
4	93,68869	0,87704	76,93651
4	94,64236	0,871079	76,9408
4	95,59604	0,865119	76,94612
4	96,54971	0,859158	76,94724
4	97,50339	0,853198	76,95197
4	98,45706	0,847237	76,95796
4	99,41074	0,841277	76,95811
4	100,3644	0,835316	76,96301
4	101,3181	0,829356	76,9631
4	102,2718	0,823395	76,96686
4	103,2254	0,817435	76,97173
4	104,1791	0,811474	76,97574
4	105,1328	0,805514	76,97819
4	106,0865	0,799554	76,9852
4	107,0401	0,793593	76,98788
4	107,9938	0,787633	76,98915
4	108,9475	0,781672	76,99022
4	109,9012	0,775712	76,99817
4	110,8548	0,769751	76,99988
4	111,8085	0,763791	77,00653
4	112,7622	0,75783	77,00981
4	113,7159	0,75187	77,01344

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	114,6695	0,745909	77,01543
4	115,6232	0,739949	77,01778
4	116,5769	0,733988	77,02137
4	117,5305	0,728028	77,02765
4	118,4842	0,722068	77,03383
4	119,4379	0,716107	77,03715
4	120,3916	0,710147	77,04101
4	121,3452	0,704186	77,04314
4	122,2989	0,698226	77,04626
4	123,2526	0,692265	77,05164
4	124,2063	0,686305	77,05335
4	125,1599	0,680344	77,05961
4	126,1136	0,674384	77,06319
4	127,0673	0,668423	77,06744
4	128,0218	0,662463	77,07224
4	129,0136	0,656502	77,07695
4	130,0054	0,650542	77,07979
4	130,9973	0,644581	77,08385
4	131,9891	0,638621	77,08978
4	132,9809	0,632661	77,09207
4	133,9727	0,6267	77,09909
4	134,9646	0,62074	77,0995
4	135,9564	0,614779	77,1064
4	136,9482	0,608819	77,10934
4	137,94	0,602858	77,1142
4	138,9318	0,596898	77,1202
4	139,9237	0,590937	77,1245
4	140,9155	0,584977	77,12677
4	141,9073	0,579016	77,13214
4	142,8991	0,573056	77,13628
4	143,8909	0,567095	77,14285
4	144,8828	0,561135	77,14806
4	145,8746	0,555175	77,1517
4	146,8664	0,549214	77,15562
4	147,8582	0,543254	77,16006
4	148,8501	0,537293	77,16938
4	149,8419	0,531333	77,17085
4	150,8337	0,525372	77,17457
4	151,8255	0,519412	77,17893
4	152,8173	0,513451	77,1853

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	153,8092	0,507491	77,19222
4	154,801	0,50153	77,19328
4	155,7928	0,49557	77,19907
4	156,7846	0,489609	77,20767
4	157,7764	0,483649	77,21254
4	158,7683	0,477688	77,21477
4	159,7601	0,471728	77,22135
4	160,7519	0,465768	77,2274
4	161,7437	0,459807	77,23256
4	162,7355	0,453847	77,2355
4	163,7274	0,447886	77,24335
4	164,7192	0,441926	77,24846
4	165,711	0,435965	77,252
4	166,7028	0,430005	77,25835
4	167,6947	0,424044	77,26474
4	168,6865	0,418084	77,27048
4	169,6783	0,412123	77,27679
4	170,6701	0,406163	77,28177
4	171,6619	0,400202	77,28812
4	171,6957	0,4	77,28826
4	172,6875	0,39407	79,35873
4	173,6793	0,388258	81,41781
4	174,6711	0,382518	83,46671
4	175,6629	0,376856	85,49867
4	176,6548	0,3713	87,51952
4	177,6466	0,365787	89,51629
4	178,6384	0,360407	91,49397
4	179,6302	0,35505	93,44303
4	180,6221	0,349832	95,36314
4	181,6139	0,344634	97,25349
4	182,6057	0,339568	99,11073
4	183,5975	0,334522	100,9336
4	184,5893	0,329605	102,7189
4	185,5812	0,324703	104,4675
4	186,573	0,319935	106,1778
4	187,5648	0,315171	107,8495
4	188,5566	0,310548	109,4813
4	189,5484	0,305929	111,074
4	190,5403	0,301435	112,6276
4	191,5321	0,296965	114,1422

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	192,5239	0,292584	115,6176
4	193,5157	0,288263	117,054
4	194,5076	0,283984	118,4537
4	195,4994	0,279812	119,8153
4	196,4912	0,275639	121,1409
4	197,483	0,271599	122,4305
4	198,4748	0,267576	123,6834
4	199,4667	0,263613	124,9029
4	200,4585	0,259738	126,0888
4	201,4503	0,255864	127,2399
4	202,4421	0,252112	128,361
4	203,4339	0,248387	129,4438
4	204,4258	0,244721	130,5112
4	205,4176	0,241103	131,5441
4	206,4094	0,237529	132,5372
4	207,4012	0,234027	133,524
4	208,3931	0,230571	134,4703
4	209,3849	0,227154	135,3855
4	210,3767	0,223802	136,2968
4	211,3685	0,220497	137,1718
4	212,3603	0,217229	138,0112
4	213,3522	0,214025	138,8498
4	214,344	0,210863	139,663
4	215,3358	0,207734	140,4423
4	216,3276	0,204677	141,2049
4	217,3194	0,201647	141,9672
4	218,3113	0,198667	142,6983
4	219,3031	0,195735	143,404
4	220,2949	0,192829	144,0904
4	221,2867	0,189993	144,7765
4	222,2785	0,187173	145,4475
4	223,2704	0,184417	146,0944
4	224,2622	0,181686	146,7104
4	225,254	0,179004	147,3206
4	226,2458	0,176357	147,9304
4	227,2377	0,17375	148,5342
4	228,2295	0,171184	149,1064
4	229,2213	0,168651	149,6638
4	230,2131	0,166161	150,1979
4	231,2049	0,163703	150,7316

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	232,1968	0,161285	151,2652
4	233,1886	0,158901	151,7979
4	234,1804	0,156551	152,3005
4	235,1722	0,154241	152,7959
4	236,164	0,151953	153,2666
4	237,1559	0,149717	153,7244
4	238,1477	0,147486	154,182
4	239,1395	0,145325	154,6394
4	240,1313	0,143165	155,0966
4	241,1232	0,141059	155,5494
4	242,115	0,138973	155,9721
4	243,1068	0,136911	156,3913
4	244,0986	0,1349	156,7938
4	245,0904	0,132888	157,1772
4	246,0823	0,13094	157,5587
4	247,0741	0,129003	157,94
4	248,0659	0,127085	158,3212
4	249,0577	0,125223	158,7022
4	250,0495	0,123369	159,0831
4	251,0414	0,121544	159,4577
4	252,0332	0,119751	159,8038
4	253,025	0,117981	160,1469
4	254,0168	0,116232	160,4881
4	255,0087	0,114519	160,8035
4	256,0004	0,112827	161,1097
4	256,916	0,111155	161,415
4	257,8315	0,109515	161,7202
4	258,747	0,107898	162,0252
4	259,6625	0,106297	162,3302
4	260,5781	0,104732	162,635
4	261,4936	0,103183	162,9397
4	262,4091	0,101655	163,2444
4	263,3246	0,100157	163,5415
4	264,2402	9,87E-02	163,8122
4	265,1557	9,72E-02	164,0793
4	266,0712	9,58E-02	164,3459
4	266,9868	9,44E-02	164,6108
4	267,9023	9,30E-02	164,8571
4	268,8178	9,16E-02	165,0911
4	269,7333	9,02E-02	165,3226

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	270,6489	8,89E-02	165,5517
4	271,5644	8,76E-02	165,781
4	272,4799	8,63E-02	166,0099
4	273,3954	0,085025	166,2388
4	274,311	8,38E-02	166,4675
4	275,2265	8,25E-02	166,6962
4	276,142	8,13E-02	166,9248
4	277,0576	8,01E-02	167,1533
4	277,9731	7,89E-02	167,3818
4	278,8886	7,78E-02	167,6102
4	279,8041	7,66E-02	167,8308
4	280,7197	7,55E-02	168,0289
4	281,6352	7,44E-02	168,22
4	282,5507	7,33E-02	168,4108
4	283,4662	7,22E-02	168,6013
4	284,3818	7,11E-02	168,7917
4	285,2973	7,01E-02	168,9798
4	286,2128	6,90E-02	169,1561
4	287,1284	6,80E-02	169,3214
4	288,0439	6,70E-02	169,4826
4	288,9594	6,60E-02	169,6396
4	289,8749	6,50E-02	169,793
4	290,7905	6,41E-02	169,9475
4	291,706	6,31E-02	170,1004
4	292,6215	6,22E-02	170,2534
4	293,537	6,13E-02	170,4062
4	294,4526	6,04E-02	170,559
4	295,3681	0,059476	170,7116
4	296,2836	0,058599	170,8643
4	297,1992	5,77E-02	171,0168
4	298,1147	5,69E-02	171,1693
4	299,0302	5,60E-02	171,3217
4	299,9457	5,52E-02	171,4741
4	300,8613	5,44E-02	171,6264
4	301,7768	5,36E-02	171,7787
4	302,6923	5,28E-02	171,931
4	303,6078	5,20E-02	172,0832
4	304,5234	5,12E-02	172,2354
4	305,4389	5,05E-02	172,3669
4	306,3544	4,97E-02	172,4881

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
4	307,27	4,90E-02	172,6065
4	308,1855	4,83E-02	172,7213
4	309,101	4,76E-02	172,8359
4	310,0165	4,69E-02	172,9504
4	310,9321	4,62E-02	173,0648
4	311,8476	4,55E-02	173,1791
4	312,7631	4,48E-02	173,2934
4	313,6786	4,42E-02	173,4076
4	314,5942	4,35E-02	173,5216
4	315,5097	4,29E-02	173,6279
4	316,4252	4,22E-02	173,729
4	317,3408	4,16E-02	173,8263
4	318,2563	4,10E-02	173,9174
4	319,1718	4,04E-02	174,0084
4	320,0873	0,039788	174,1015
4	321,0029	3,92E-02	174,1899
4	321,9184	3,86E-02	174,2793
4	322,8339	3,80E-02	174,3638
4	323,7495	3,75E-02	174,4511
5	0	1,42	20
5	0,968977 4	1,419691	33,25922
5	1,938149	1,41885	45,17419
5	2,90732	1,417243	55,39262
5	3,876492	1,414571	63,68626
5	4,844623	1,410773	70,04308
5	5,812603	1,405917	74,66254
5	6,780582	1,400196	77,87241
5	7,748561	1,393777	80,02732
5	8,716541	1,386845	81,43884
5	9,684521	1,379692	82,34792
5	10,6525	1,372217	82,92748
5	11,62048	1,364469	83,29481
5	12,58846	1,35672	83,52666
5	13,55644	1,348971	83,67104
5	14,52442	1,341223	83,76409
5	15,4924	1,333474	83,82413
5	16,46264	1,325726	83,86226
5	17,43539	1,317977	83,88741
5	18,40814	1,310228	83,90646

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	19,38089	1,30248	83,91552
5	20,35364	1,294731	83,92516
5	21,32638	1,286983	83,92923
5	22,29913	1,279234	83,92937
5	23,27188	1,271485	83,93179
5	24,24463	1,263737	83,93553
5	25,21737	1,255988	83,93653
5	26,19012	1,24824	83,93796
5	27,16287	1,240491	83,94586
5	28,13562	1,232742	83,94936
5	29,10837	1,224994	83,95366
5	30,08111	1,217245	83,95664
5	31,05386	1,209496	83,96152
5	32,02661	1,201748	83,96169
5	32,99936	1,193999	83,96497
5	33,9721	1,186251	83,97215
5	34,94485	1,178502	83,97578
5	35,9176	1,170753	83,97681
5	36,89035	1,163005	83,98072
5	37,86309	1,155256	83,98084
5	38,83584	1,147508	83,98503
5	39,80859	1,139759	83,98964
5	40,78134	1,13201	83,99184
5	41,75409	1,124262	83,99722
5	42,72683	1,116513	84,00035
5	43,69958	1,108765	84,00255
5	44,67233	1,101016	84,00983
5	45,64508	1,093267	84,01305
5	46,61782	1,085519	84,0193
5	47,59057	1,07777	84,02121
5	48,56332	1,070022	84,02377
5	49,53607	1,062273	84,02635
5	50,50882	1,054524	84,02934
5	51,48156	1,046776	84,03352
5	52,45431	1,039027	84,04032
5	53,42706	1,031279	84,04183
5	54,39981	1,02353	84,04556
5	55,37255	1,015781	84,05185
5	56,3453	1,008033	84,05637
5	57,31805	1,000284	84,06299



Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	58,2908	0,992457	84,06319
5	59,26355	0,984587	84,06911
5	60,23629	0,976699	84,07569
5	61,20904	0,968788	84,07777
5	62,18179	0,960877	84,08437
5	63,15454	0,95295	84,08676
5	64,12479	0,945011	84,09139
5	65,07846	0,937073	84,0962
5	66,03214	0,929112	84,10364
5	66,98581	0,921147	84,10818
5	67,93948	0,913155	84,11663
5	68,89316	0,905146	84,12085
5	69,84683	0,897126	84,12647
5	70,80051	0,889107	84,12709
5	71,75418	0,881069	84,1368
5	72,70786	0,873022	84,13927
5	73,66153	0,864975	84,14505
5	74,6152	0,856929	84,14694
5	75,56888	0,848882	84,15314
5	76,52255	0,840835	84,16051
5	77,47623	0,832789	84,16447
5	78,4299	0,824742	84,1701
5	79,38358	0,816696	84,17757
5	80,33725	0,808649	84,18106
5	81,29092	0,800602	84,18477
5	82,2446	0,792556	84,19057
5	83,19827	0,784509	84,19596
5	84,15195	0,776462	84,19919
5	85,10562	0,768416	84,20939
5	86,0593	0,760369	84,21619
5	87,01297	0,752322	84,21814
5	87,96664	0,744276	84,22399
5	88,92032	0,736229	84,23073
5	89,87399	0,728183	84,23405
5	90,82767	0,720136	84,23896
5	91,78134	0,712089	84,2466
5	92,73502	0,704043	84,25457
5	93,68869	0,695996	84,26035
5	94,64236	0,68795	84,26359
5	95,59604	0,679903	84,26859

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	96,54971	0,671856	84,27599
5	97,50339	0,66381	84,28164
5	98,45706	0,655763	84,28969
5	99,41074	0,647716	84,29517
5	100,3644	0,63967	84,30188
5	101,3181	0,631623	84,3077
5	102,2718	0,623577	84,31188
5	103,2254	0,61553	84,3208
5	104,1791	0,607483	84,3268
5	105,1328	0,599437	84,33468
5	106,0865	0,59139	84,33937
5	107,0401	0,583343	84,3465
5	107,9938	0,575297	84,35313
5	108,9475	0,56725	84,36124
5	109,9012	0,559203	84,36693
5	110,8548	0,551157	84,37377
5	111,8085	0,54311	84,37932
5	112,7622	0,535064	84,39008
5	113,7159	0,527017	84,39711
5	114,6695	0,51897	84,40266
5	115,6232	0,510924	84,40887
5	116,5769	0,502877	84,41779
5	117,5305	0,494831	84,42696
5	118,4842	0,486784	84,43234
5	119,4379	0,478737	84,43947
5	120,3916	0,470691	84,44865
5	121,3452	0,462644	84,45715
5	122,2989	0,454597	84,46396
5	123,2526	0,446551	84,47215
5	124,2063	0,438504	84,48109
5	125,1599	0,430458	84,48838
5	126,1136	0,422411	84,49667
5	127,0673	0,414364	84,50523
5	128,0218	0,406318	84,51373
5	128,8006	0,399999	84,51955
5	129,7924	0,392043	86,71946
5	130,7842	0,384245	88,98912
5	131,776	0,376603	91,32803
5	132,7679	0,369113	93,72038
5	133,7597	0,361772	96,15656

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	134,7515	0,354579	98,62691
5	135,7433	0,347528	101,1117
5	136,7352	0,340618	103,6097
5	137,727	0,333845	106,108
5	138,7188	0,327205	108,5991
5	139,7106	0,320694	111,0776
5	140,7024	0,314309	113,5312
5	141,6943	0,308051	115,9595
5	142,6861	0,301936	118,3534
5	143,6779	0,295938	120,7075
5	144,6697	0,290053	123,0193
5	145,6615	0,284276	125,286
5	146,6534	0,278614	127,5036
5	147,6452	0,273088	129,6641
5	148,637	0,26766	131,7816
5	149,6288	0,262325	133,84
5	150,6207	0,257109	135,8379
5	151,6125	0,252009	137,7863
5	152,6043	0,246984	139,6809
5	153,5961	0,242075	141,516
5	154,5879	0,237262	143,2907
5	155,5798	0,232541	145,0197
5	156,5716	0,227914	146,6917
5	157,5634	0,223385	148,3043
5	158,5552	0,218944	149,8704
5	159,547	0,214589	151,3878
5	160,5389	0,210319	152,8478
5	161,5307	0,206134	154,2674
5	162,5225	0,202035	155,6396
5	163,5143	0,198017	156,9571
5	164,5061	0,19408	158,2439
5	165,498	0,190221	159,4749
5	166,4898	0,186438	160,6793
5	167,4816	0,18273	161,8294
5	168,4734	0,179096	162,9553
5	169,4653	0,175534	164,0304
5	170,4571	0,172042	165,0868
5	171,4489	0,16862	166,0919
5	172,4407	0,165266	167,0824
5	173,4325	0,16198	168,0282

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	174,4244	0,158762	168,9432
5	175,4162	0,155606	169,8432
5	176,408	0,152511	170,6983
5	177,3998	0,149475	171,5368
5	178,3916	0,146501	172,3552
5	179,3835	0,143589	173,1324
5	180,3753	0,140737	173,8948
5	181,3671	0,137937	174,647
5	182,3589	0,13519	175,3615
5	183,3508	0,132503	176,048
5	184,3426	0,129872	176,7339
5	185,3344	0,127285	177,3986
5	186,3262	0,124758	178,0315
5	187,318	0,122273	178,6418
5	188,3099	0,119841	179,2514
5	189,3017	0,117458	179,8508
5	190,2935	0,115122	180,4214
5	191,2853	0,112832	180,9595
5	192,2771	0,110588	181,4934
5	193,269	0,10839	182,0268
5	194,2608	0,106234	182,5552
5	195,2526	0,104121	183,052
5	196,2444	0,10205	183,5268
5	197,2363	0,100021	183,9849
5	198,2281	9,80E-02	184,4423
5	199,2199	9,61E-02	184,8995
5	200,2117	9,42E-02	185,3551
5	201,2035	0,092298	185,7791
5	202,1954	9,05E-02	186,1959
5	203,1872	8,87E-02	186,5816
5	204,179	0,0869	186,9633
5	205,1708	8,52E-02	187,3446
5	206,1626	8,35E-02	187,7256
5	207,1545	8,18E-02	188,1063
5	208,1463	8,02E-02	188,4789
5	209,1381	7,86E-02	188,8232
5	210,1299	7,70E-02	189,1659
5	211,1217	7,55E-02	189,4841
5	212,1136	7,40E-02	189,7898
5	213,1054	7,25E-02	190,0952

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	214,0972	7,11E-02	190,4002
5	215,089	6,97E-02	190,7051
5	216,0809	0,068286	191,0098
5	217,0727	6,69E-02	191,3143
5	218,0645	6,56E-02	191,6115
5	219,0563	6,43E-02	191,8802
5	220,0481	6,30E-02	192,1469
5	221,04	6,18E-02	192,4088
5	222,0318	6,05E-02	192,6463
5	223,0236	5,93E-02	192,8774
5	224,0154	5,81E-02	193,1067
5	225,0072	5,70E-02	193,3358
5	225,9991	0,05586	193,5648
5	226,9909	5,47E-02	193,7934
5	227,9827	5,37E-02	194,022
5	228,9745	5,26E-02	194,2505
5	229,9664	5,15E-02	194,4789
5	230,9582	5,05E-02	194,7072
5	231,95	4,95E-02	194,9154
5	232,9418	4,85E-02	195,1072
5	233,9336	4,76E-02	195,2979
5	234,9255	4,66E-02	195,4882
5	235,9173	4,57E-02	195,6752
5	236,9091	4,48E-02	195,8432
5	237,9009	4,39E-02	196,0038
5	238,8927	4,30E-02	196,1596
5	239,8846	4,22E-02	196,3135
5	240,8764	4,13E-02	196,4666
5	241,8682	4,05E-02	196,6195
5	242,86	3,97E-02	196,7724
5	243,8519	3,89E-02	196,9252
5	244,8437	3,81E-02	197,0778
5	245,8355	3,74E-02	197,2303
5	246,8273	3,66E-02	197,3826
5	247,8191	3,59E-02	197,535
5	248,811	3,52E-02	197,6873
5	249,8028	3,45E-02	197,8395
5	250,7946	3,38E-02	197,9917
5	251,7864	3,31E-02	198,1416
5	252,7782	3,25E-02	198,2682

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	253,7701	3,18E-02	198,3838
5	254,7619	3,12E-02	198,4986
5	255,7537	0,030577	198,6131
5	256,6882	3,00E-02	198,7274
5	257,6037	2,94E-02	198,8416
5	258,5192	2,88E-02	198,9557
5	259,4348	0,028216	199,0678
5	260,3503	2,77E-02	199,168
5	261,2658	2,71E-02	199,2608
5	262,1813	2,66E-02	199,3518
5	263,0969	0,026037	199,442
5	264,0124	2,55E-02	199,5306
5	264,9279	2,50E-02	199,617
5	265,8434	2,45E-02	199,7002
5	266,759	2,40E-02	199,7818
5	267,6745	2,35E-02	199,8635
5	268,59	2,31E-02	199,9451
5	269,5056	2,26E-02	200,0228
5	270,4211	2,22E-02	200,1001
5	271,3366	2,17E-02	200,177
5	272,2521	2,13E-02	200,2536
5	273,1677	2,09E-02	200,3301
5	274,0832	2,05E-02	200,4066
5	274,9987	2,01E-02	200,4831
5	275,9142	1,97E-02	200,5595
5	276,8298	1,93E-02	200,6358
5	277,7453	1,89E-02	200,7121
5	278,6608	1,85E-02	200,7883
5	279,5764	1,81E-02	200,8645
5	280,4919	1,78E-02	200,9406
5	281,4074	1,74E-02	201,0168
5	282,3229	1,71E-02	201,0929
5	283,2385	1,67E-02	201,1691
5	284,154	0,016405	201,2452
5	285,0695	1,61E-02	201,3212
5	285,985	1,58E-02	201,3972
5	286,9006	1,54E-02	201,4688
5	287,8161	1,51E-02	201,5243
5	288,7316	1,48E-02	201,5738
5	289,6472	1,45E-02	201,622

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
5	290,5627	0,014252	201,6671
5	291,4782	1,40E-02	201,7152
5	292,3937	1,37E-02	201,7634
5	293,3093	1,34E-02	201,8105
5	294,2248	1,32E-02	201,8507
5	295,1403	0,012891	201,8933
5	296,0558	1,26E-02	201,935
5	296,9714	1,24E-02	201,9767
5	297,8869	1,21E-02	202,019
5	298,8024	1,19E-02	202,0593
5	299,718	1,17E-02	202,0977
5	300,6335	1,14E-02	202,1366
5	301,549	1,12E-02	202,176
5	302,4645	1,10E-02	202,2144
5	303,3801	1,08E-02	202,2526
5	304,2956	1,05E-02	202,2908
5	305,2111	1,03E-02	202,3289
5	306,1266	1,01E-02	202,367
5	307,0422	9,93E-03	202,4052
5	307,9577	9,73E-03	202,4432
5	308,8732	9,54E-03	202,4813
5	309,7888	9,35E-03	202,5193
5	310,7043	9,16E-03	202,5573
5	311,6198	8,98E-03	202,5916
5	312,5353	8,80E-03	202,6228
5	313,4509	8,63E-03	202,6544
5	314,3664	8,45E-03	202,6827
5	315,2819	8,29E-03	202,711
5	316,1974	8,12E-03	202,7345
5	317,113	7,96E-03	202,7558
5	318,0285	7,80E-03	202,782
5	318,944	7,65E-03	202,808
5	319,8596	7,49E-03	202,8313
5	320,7751	7,35E-03	202,8622
5	321,6906	0,007199	202,8809
5	322,6061	7,06E-03	202,9043
5	323,5217	6,92E-03	202,929
5	324,4372	6,78E-03	202,9475
6	0	1,42	1,42
6	0,968977	1,41959	1,41959

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	1,938149	1,417977	1,417977
6	2,90732	1,414441	1,414441
6	3,876492	1,408422	1,408422
6	4,844623	1,400022	1,400022
6	5,812603	1,389817	1,389817
6	6,780582	1,378423	1,378423
6	7,748561	1,366379	1,366379
6	8,716541	1,353862	1,353862
6	9,684521	1,341345	1,341345
6	10,6525	1,328821	1,328821
6	11,62048	1,315907	1,315907
6	12,58846	1,302794	1,302794
6	13,55644	1,289681	1,289681
6	14,52442	1,276568	1,276568
6	15,4924	1,263455	1,263455
6	16,46264	1,250342	1,250342
6	17,43539	1,237229	1,237229
6	18,40814	1,224116	1,224116
6	19,38089	1,211003	1,211003
6	20,35364	1,19789	1,19789
6	21,32638	1,184777	1,184777
6	22,29913	1,171664	1,171664
6	23,27188	1,158551	1,158551
6	24,24463	1,145438	1,145438
6	25,21737	1,132325	1,132325
6	26,19012	1,119212	1,119212
6	27,16287	1,106099	1,106099
6	28,13562	1,092986	1,092986
6	29,10837	1,079873	1,079873
6	30,08111	1,06676	1,06676
6	31,05386	1,053647	1,053647
6	32,02661	1,040534	1,040534
6	32,99936	1,027421	1,027421
6	33,9721	1,014308	1,014308
6	34,94485	1,001195	1,001195
6	35,9176	0,988227	0,988227
6	36,89035	0,975251	0,975251
6	37,86309	0,962274	0,962274
6	38,83584	0,949272	0,949272
6	39,80859	0,936267	0,936267

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	40,78134	0,923239	0,923239
6	41,75409	0,910205	0,910205
6	42,72683	0,897146	0,897146
6	43,69958	0,884075	0,884075
6	44,67233	0,870989	0,870989
6	45,64508	0,857876	0,857876
6	46,61782	0,844763	0,844763
6	47,59057	0,83165	0,83165
6	48,56332	0,818537	0,818537
6	49,53607	0,805424	0,805424
6	50,50882	0,792311	0,792311
6	51,48156	0,779198	0,779198
6	52,45431	0,766085	0,766085
6	53,42706	0,752972	0,752972
6	54,39981	0,739859	0,739859
6	55,37255	0,726746	0,726746
6	56,3453	0,713633	0,713633
6	57,31805	0,70052	0,70052
6	58,2908	0,687407	0,687407
6	59,26355	0,674294	0,674294
6	60,23629	0,661181	0,661181
6	61,20904	0,648068	0,648068
6	62,18179	0,634955	0,634955
6	63,15454	0,621842	0,621842
6	64,12479	0,608729	0,608729
6	65,07846	0,595616	0,595616
6	66,03214	0,582503	0,582503
6	66,98581	0,56939	0,56939
6	67,93948	0,556277	0,556277
6	68,89316	0,543164	0,543164
6	69,84683	0,530051	0,530051
6	70,80051	0,516938	0,516938
6	71,75418	0,503825	0,503825
6	72,70786	0,490712	0,490712
6	73,66153	0,477599	0,477599
6	74,6152	0,464486	0,464486
6	75,56888	0,451365	0,451365
6	76,52255	0,438211	0,438211
6	77,47623	0,425035	0,425035
6	78,4299	0,411851	0,411851

Номер досліду	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	79,28668	0,399998	0,399998
6	80,24036	0,387023	0,387023
6	81,19403	0,374471	0,374471
6	82,14771	0,362324	0,362324
6	83,10138	0,350568	0,350568
6	84,05505	0,339201	0,339201
6	85,00873	0,328195	0,328195
6	85,9624	0,317551	0,317551
6	86,91608	0,307254	0,307254
6	87,86975	0,297286	0,297286
6	88,82343	0,28764	0,28764
6	89,7771	0,278308	0,278308
6	90,73077	0,269281	0,269281
6	91,68445	0,260548	0,260548
6	92,63812	0,2521	0,2521
6	93,5918	0,243922	0,243922
6	94,54547	0,236008	0,236008
6	95,49915	0,228354	0,228354
6	96,45282	0,220947	0,220947
6	97,40649	0,213779	0,213779
6	98,36017	0,206845	0,206845
6	99,31384	0,200136	0,200136
6	100,2675	0,193644	0,193644
6	101,2212	0,187364	0,187364
6	102,1749	0,181286	0,181286
6	103,1285	0,175405	0,175405
6	104,0822	0,169717	0,169717
6	105,0359	0,164211	0,164211
6	105,9896	0,158885	0,158885
6	106,9432	0,153732	0,153732
6	107,8969	0,148745	0,148745
6	108,8506	0,14392	0,14392
6	109,8043	0,139252	0,139252
6	110,7579	0,134735	0,134735
6	111,7116	0,130365	0,130365
6	112,6653	0,126137	0,126137
6	113,619	0,122045	0,122045
6	114,5726	0,118087	0,118087
6	115,5263	0,114256	0,114256
6	116,48	0,11055	0,11055

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	117,4337	0,106965	0,106965
6	118,3873	0,103495	0,103495
6	119,341	0,100138	0,100138
6	120,2947	9,69E-02	9,69E-02
6	121,2484	9,37E-02	9,37E-02
6	122,202	9,07E-02	9,07E-02
6	123,1557	8,78E-02	8,78E-02
6	124,1094	8,49E-02	8,49E-02
6	125,063	0,082164	0,082164
6	126,0167	7,95E-02	7,95E-02
6	126,9704	7,69E-02	7,69E-02
6	127,9241	7,44E-02	7,44E-02
6	128,9129	7,20E-02	7,20E-02
6	129,9047	6,97E-02	6,97E-02
6	130,8965	6,74E-02	6,74E-02
6	131,8883	6,52E-02	6,52E-02
6	132,8801	6,31E-02	6,31E-02
6	133,872	0,061066	0,061066
6	134,8638	5,91E-02	5,91E-02
6	135,8556	5,72E-02	5,72E-02
6	136,8474	5,53E-02	5,53E-02
6	137,8392	5,35E-02	5,35E-02
6	138,8311	5,18E-02	5,18E-02
6	139,8229	5,01E-02	5,01E-02
6	140,8147	4,85E-02	4,85E-02
6	141,8065	0,046908	0,046908
6	142,7984	4,54E-02	4,54E-02
6	143,7902	4,39E-02	4,39E-02
6	144,782	0,04249	0,04249
6	145,7738	4,11E-02	4,11E-02
6	146,7656	3,98E-02	3,98E-02
6	147,7575	3,85E-02	3,85E-02
6	148,7493	3,72E-02	3,72E-02
6	149,7411	3,60E-02	3,60E-02
6	150,7329	3,49E-02	3,49E-02
6	151,7247	3,37E-02	3,37E-02
6	152,7166	3,26E-02	3,26E-02
6	153,7084	3,16E-02	3,16E-02
6	154,7002	3,06E-02	3,06E-02
6	155,692	0,029564	0,029564

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	156,6839	2,86E-02	2,86E-02
6	157,6757	2,77E-02	2,77E-02
6	158,6675	2,68E-02	2,68E-02
6	159,6593	2,59E-02	2,59E-02
6	160,6511	2,51E-02	2,51E-02
6	161,643	2,43E-02	2,43E-02
6	162,6348	2,35E-02	2,35E-02
6	163,6266	2,27E-02	2,27E-02
6	164,6184	2,20E-02	2,20E-02
6	165,6102	2,13E-02	2,13E-02
6	166,6021	2,06E-02	2,06E-02
6	167,5939	1,99E-02	1,99E-02
6	168,5857	1,93E-02	1,93E-02
6	169,5775	1,86E-02	1,86E-02
6	170,5694	1,80E-02	1,80E-02
6	171,5612	1,74E-02	1,74E-02
6	172,553	0,016879	0,016879
6	173,5448	1,63E-02	1,63E-02
6	174,5366	1,58E-02	1,58E-02
6	175,5285	1,53E-02	1,53E-02
6	176,5203	0,014793	0,014793
6	177,5121	1,43E-02	1,43E-02
6	178,5039	1,38E-02	1,38E-02
6	179,4957	1,34E-02	1,34E-02
6	180,4876	1,30E-02	1,30E-02
6	181,4794	1,25E-02	1,25E-02
6	182,4712	1,21E-02	1,21E-02
6	183,463	1,17E-02	1,17E-02
6	184,4548	1,14E-02	1,14E-02
6	185,4467	1,10E-02	1,10E-02
6	186,4385	1,06E-02	1,06E-02
6	187,4303	1,03E-02	1,03E-02
6	188,4221	9,96E-03	9,96E-03
6	189,414	9,64E-03	9,64E-03
6	190,4058	9,32E-03	9,32E-03
6	191,3976	9,02E-03	9,02E-03
6	192,3894	8,73E-03	8,73E-03
6	193,3812	8,45E-03	8,45E-03
6	194,3731	8,17E-03	8,17E-03
6	195,3649	7,91E-03	7,91E-03

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	196,3567	7,65E-03	7,65E-03
6	197,3485	7,40E-03	7,40E-03
6	198,3403	7,16E-03	7,16E-03
6	199,3322	6,93E-03	6,93E-03
6	200,324	6,71E-03	6,71E-03
6	201,3158	6,49E-03	6,49E-03
6	202,3076	6,28E-03	6,28E-03
6	203,2995	6,07E-03	6,07E-03
6	204,2913	5,88E-03	5,88E-03
6	205,2831	5,69E-03	5,69E-03
6	206,2749	5,50E-03	5,50E-03
6	207,2667	5,32E-03	5,32E-03
6	208,2586	5,15E-03	5,15E-03
6	209,2504	4,98E-03	4,98E-03
6	210,2422	4,82E-03	4,82E-03
6	211,234	4,67E-03	4,67E-03
6	212,2258	4,51E-03	4,51E-03
6	213,2177	4,37E-03	4,37E-03
6	214,2095	4,23E-03	4,23E-03
6	215,2013	4,09E-03	4,09E-03
6	216,1931	3,96E-03	3,96E-03
6	217,185	3,83E-03	3,83E-03
6	218,1768	3,70E-03	3,70E-03
6	219,1686	3,58E-03	3,58E-03
6	220,1604	3,47E-03	3,47E-03
6	221,1522	3,36E-03	3,36E-03
6	222,1441	3,25E-03	3,25E-03
6	223,1359	3,14E-03	3,14E-03
6	224,1277	3,04E-03	3,04E-03
6	225,1195	2,94E-03	2,94E-03
6	226,1113	2,85E-03	2,85E-03
6	227,1032	2,75E-03	2,75E-03
6	228,095	2,66E-03	2,66E-03
6	229,0868	2,58E-03	2,58E-03
6	230,0786	2,49E-03	2,49E-03
6	231,0704	2,41E-03	2,41E-03
6	232,0623	2,33E-03	2,33E-03
6	233,0541	2,26E-03	2,26E-03
6	234,0459	2,19E-03	2,19E-03
6	235,0377	2,11E-03	2,11E-03

Номер дослідю	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	236,0296	2,05E-03	2,05E-03
6	237,0214	1,98E-03	1,98E-03
6	238,0132	1,92E-03	1,92E-03
6	239,005	1,85E-03	1,85E-03
6	239,9968	1,79E-03	1,79E-03
6	240,9887	1,74E-03	1,74E-03
6	241,9805	1,68E-03	1,68E-03
6	242,9723	1,62E-03	1,62E-03
6	243,9641	1,57E-03	1,57E-03
6	244,9559	1,52E-03	1,52E-03
6	245,9478	1,47E-03	1,47E-03
6	246,9396	1,42E-03	1,42E-03
6	247,9314	1,38E-03	1,38E-03
6	248,9232	1,33E-03	1,33E-03
6	249,9151	1,29E-03	1,29E-03
6	250,9069	1,25E-03	1,25E-03
6	251,8987	1,21E-03	1,21E-03
6	252,8905	1,17E-03	1,17E-03
6	253,8823	1,13E-03	1,13E-03
6	254,8742	1,09E-03	1,09E-03
6	255,866	1,06E-03	1,06E-03
6	256,7918	1,02E-03	1,02E-03
6	257,7073	9,91E-04	9,91E-04
6	258,6229	9,59E-04	9,59E-04
6	259,5384	9,28E-04	9,28E-04
6	260,4539	8,97E-04	8,97E-04
6	261,3694	8,68E-04	8,68E-04
6	262,285	8,40E-04	8,40E-04
6	263,2005	8,13E-04	8,13E-04
6	264,116	7,87E-04	7,87E-04
6	265,0316	7,61E-04	7,61E-04
6	265,9471	7,36E-04	7,36E-04
6	266,8626	7,12E-04	7,12E-04
6	267,7781	6,89E-04	6,89E-04
6	268,6937	6,67E-04	6,67E-04
6	269,6092	6,45E-04	6,45E-04
6	270,5247	6,24E-04	6,24E-04
6	271,4402	6,04E-04	6,04E-04
6	272,3558	5,85E-04	5,85E-04
6	273,2713	5,66E-04	5,66E-04

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	274,1868	5,47E-04	5,47E-04
6	275,1024	5,30E-04	5,30E-04
6	276,0179	5,12E-04	5,12E-04
6	276,9334	4,96E-04	4,96E-04
6	277,8489	4,80E-04	4,80E-04
6	278,7645	4,64E-04	4,64E-04
6	279,68	4,49E-04	4,49E-04
6	280,5955	4,35E-04	4,35E-04
6	281,511	4,20E-04	4,20E-04
6	282,4266	4,07E-04	4,07E-04
6	283,3421	3,94E-04	3,94E-04
6	284,2576	3,81E-04	3,81E-04
6	285,1732	3,68E-04	3,68E-04
6	286,0887	3,57E-04	3,57E-04
6	287,0042	3,45E-04	3,45E-04
6	287,9197	3,34E-04	3,34E-04
6	288,8353	3,23E-04	3,23E-04
6	289,7508	3,12E-04	3,12E-04
6	290,6663	3,02E-04	3,02E-04
6	291,5818	2,93E-04	2,93E-04
6	292,4974	2,83E-04	2,83E-04
6	293,4129	2,74E-04	2,74E-04
6	294,3284	2,65E-04	2,65E-04
6	295,244	2,56E-04	2,56E-04
6	296,1595	2,48E-04	2,48E-04
6	297,075	2,40E-04	2,40E-04
6	297,9905	2,32E-04	2,32E-04
6	298,9061	2,25E-04	2,25E-04

Номер досліджу	Час сушіння,с	Вологовміст, кг/кг	Температура, °С
6	299,8216	2,17E-04	2,17E-04
6	300,7371	2,10E-04	2,10E-04
6	301,6526	2,04E-04	2,04E-04
6	302,5682	1,97E-04	1,97E-04
6	303,4837	1,91E-04	1,91E-04
6	304,3992	1,84E-04	1,84E-04
6	305,3148	1,78E-04	1,78E-04
6	306,2303	1,73E-04	1,73E-04
6	307,1458	1,67E-04	1,67E-04
6	308,0613	1,62E-04	1,62E-04
6	308,9769	1,56E-04	1,56E-04
6	309,8924	1,51E-04	1,51E-04
6	310,8079	1,46E-04	1,46E-04
6	311,7234	1,42E-04	1,42E-04
6	312,639	1,37E-04	1,37E-04
6	313,5545	1,33E-04	1,33E-04
6	314,47	1,28E-04	1,28E-04
6	315,3856	1,24E-04	1,24E-04
6	316,3011	1,20E-04	1,20E-04
6	317,2166	1,16E-04	1,16E-04
6	318,1321	1,12E-04	1,12E-04
6	319,0477	1,09E-04	1,09E-04
6	319,9632	1,05E-04	1,05E-04
6	320,8787	1,02E-04	1,02E-04
6	321,7943	9,86E-05	9,86E-05
6	322,7098	9,54E-05	9,54E-05
6	323,6253	9,23E-05	9,23E-05
6	324,3213	9,00E-05	9,00E-05



## Додаток Е

### Розрахунок похибок вимірювання

#### Е.1 Визначення похибок вимірювання

Величини, що підлягали вимірюванню та параметри приладів наведено в таблиці Е.1.

Таблиця Е1 – Фізичні вимірювані величини та характеристика приладів

Величина	Прилад	Одиниці вимірювання	Діапазон вимірювання	Дискретність вимірювання	Гранична допустима похибка приладу, %
маса	ваги	г	0 - 60	0,001	0,002
температура картону	пірометр	°С	– 60 - +1000	1	0,1
час	секундомір	с	0 - 60	0,01	0,02
ЕРС	вольтметр	В	0 - 600	4	0,67
відстань	штангенциркуль	мм	0 - 150	0,1	0,07
потужність	ватметр	Вт	75 - 3000	20	0,67

Довірчий інтервал шуканої величини визначався з ймовірністю  $\alpha = 0,95$  (ступінь ризику 0,05). Результати записувалися у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta_{\Sigma} \quad (\text{Е.1})$$

де  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення фізичної величини;  $\Delta_{\Sigma}$  – значення абсолютної похибки вимірювання.

##### Е.1.1 Визначення похибок прямих вимірювань маси картону

Результати вимірювань маси картону, наповненого цеолітом на вагах наведено в таблиці Е.2.

Таблиця Е.2 – Результати вимірювань маси картону

№ досліду	Значення вимірювання, г	$(\bar{x} - x_i)^2, \text{г}^2$
1	0,963	$7,225 \cdot 10^{-5}$
2	0,947	$5,625 \cdot 10^{-5}$
3	0,938	0,0002723
4	0,954	$2,5 \cdot 10^{-7}$
5	0,958	$1,225 \cdot 10^{-5}$
6	0,967	0,0001562
	$\bar{x}=0,9545$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,00057$

Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання маси картону:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,00057}{6 - 1}} = 0,0048 \text{ г}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,001}{3} = 0,0003 \text{ г}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{s} = \frac{0,0003}{0,0048} = 0,063$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання маси картону:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,001 + 2,8 \frac{0,0063}{\sqrt{6}} = 0,0082 \text{ г},$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=6$  становить 2,8 [33].

Тоді дійсне значення маси картону визначається як:

$$m = \overline{m} \pm \Delta_{\Sigma} = \overline{m} \pm 0,0082 \text{ г},$$

де  $\overline{m}$  – виміряне на вагах значення маси картону, г.

### Е.1.2 Визначення похибок вимірювань температури картону

Результати вимірювань температури картону пірометром наведено в таблиці Е.3.

Таблиця Е.3 – Результати вимірювань температури картону

№ досліду	Значення вимірювання, °С	$(\bar{x} - x_i)^2, ^\circ\text{C}^2$
1	170	1190,25
2	199,9	21,16
3	242	1406,25
4	170	1190,25
5	201	12,25
6	244	1560,25
	$\bar{x}=204,5$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 5380,41$

Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання температури картону:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{5380,42}{6 - 1}} = 14,67^\circ\text{C}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{1}{3} = 0,333^\circ\text{C}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{s} = \frac{0,333}{14,67} = 0,023$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання температури картогону:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} = 1 + 2,8 \frac{14,67}{\sqrt{6}} = 17,77^{\circ}\text{C}$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=6$  становить 2,8 [33].

Тоді дійсне значення температури картону визначається як:

$$t = \bar{t} \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{t} \pm 17,77^{\circ}\text{C}$$

де  $\bar{t}$  – виміряне пірметром значення температури картону,  $^{\circ}\text{C}$ .

### **Е.1.3 Визначення похибок прямих вимірювань напруги, що протікає через датчик теплового потоку**

Результати вимірювань сили струму, що протікає через датчик теплового потоку і вимірюється вольтметром, наведено в таблиці Е.4.

Таблиця Е.4 – Результати вимірювань напруги

№ досліду	Значення, В	$(\bar{x} - x_i)^2, \text{В}^2$
1	63	0,11
2	63	0,11
3	64	0,4
4	63	0,11
5	63	0,11
6	64	0,4

	$\bar{x}=63,3$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 1,24$
--	----------------	---

Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання напруги:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1,24}{6 - 1}} = 0,22 \text{ В}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{4}{3} = 1,333 \text{ В}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{s} = \frac{1,333}{0,22} = 6,059$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання напруги:

$$\Delta_\Sigma = \delta + t_\alpha \frac{S}{\sqrt{n}} = 4 + 2,8 \frac{0,22}{\sqrt{6}} = 4,25 \text{ В}$$

де  $t_\alpha$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=6$  становить 2,8 [33].

Тоді дійсне значення товщини картону визначається як:

$$U_{\text{EPC}} = \overline{U_{\text{EPC}}} \pm \Delta_\Sigma = \overline{U_{\text{EPC}}} \pm 4,25 \text{ В}$$

де  $\overline{U_{\text{EPC}}}$  – виміряне вольтметром значення ЕРС, що протікає через датчик теплового потоку, В.

#### **Е.1.4 Визначення похибок прямих вимірювань електричної потужності інфрачервоного випромінювача**

Результати вимірювань електричної потужності інфрачервоного

випромінювача наведено в таблиці Е.5.

Таблиця Е.5– Результати вимірювань потужності ІЧ випромінювача

№ досліду	Значення, Вт	$(\bar{x} - x_i)^2, \text{Вт}^2$
1	630	10,89
2	630	10,89
3	640	44,89
4	630	10,89
5	630	10,89
	640	44,89
	$\bar{x}=633,3$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 133,34$

Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання потужності:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{133,34}{6 - 1}} = 2,3 \text{ Вт}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{20}{3} = 6,67 \text{ Вт}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{S} = \frac{6,67}{2,3} = 2,9$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання потужності:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} = 20 + 2,8 \frac{2,3}{\sqrt{6}} = 22,67 \text{ Вт}$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=6$  становить 2,8 [33].

Тоді дійсне значення температури повітря визначається як:

$$W = \overline{W} \pm \Delta_{\Sigma} = \overline{W} \pm 22,67 \text{ Вт}$$

де  $\overline{W}$  – виміряне ватметром значення електричної потужності ІЧ випромінювача, Вт.

### **Е.1.5 Визначення похибок прямих вимірювань відстані між інфрачервоним випромінювачем та поверхнею картону**

Результати вимірювань відстані між робочою поверхнею ІЧ випромінювача та поверхнею картону наведено в таблиці Е.6.

Таблиця Е.6 – Результати вимірювань відстані

№ досліду	Значення, мм	$(\bar{x} - x_i)^2$ , мм <sup>2</sup>
1	130	707,56
2	100	11,56
3	80,1	542,89
4	130	707,56
5	100,2	10,24
6	80	547,56
	$\bar{x}=103,4$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 2527,4$

Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання відстані:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{2527,4}{6 - 1}} = 10,05 \text{ мм}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,1}{3} = 0,033 \text{ мм}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{s} = \frac{0,033}{10,05} = 0,0033$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання відстані:

$$\Delta_\Sigma = \delta + t_\alpha \frac{s}{\sqrt{n}} = 0,1 + 2,8 \frac{10,05}{\sqrt{6}} = 11,6 \text{ мм}$$

де  $t_\alpha$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=6$  становить 2,8 [33].

Тоді дійсне значення відстані між робочою поверхнею ІЧ випромінювача та поверхнею картону визначається як:

$$H = \bar{H} \pm \Delta_\Sigma = \bar{H} \pm 11,6 \text{ мм}$$

де  $\bar{H}$  – виміряне штангенциркулем значення відстані, мм.

### Е.1.6 Визначення похибок прямих вимірювань часу

Результати вимірювань часу секундоміром, коли визначалась температура поверхні картону, наведено в таблиці Е.7.

Таблиця Е.7 – Результати вимірювань часу

№ досліду	Значення, с	$(\bar{x} - x_i)^2, \text{с}^2$
1	4,98	0,0036
2	4,65	0,0729
3	4,88	0,00016
4	5,15	0,0529
5	4,89	0,0009



6	4,98	0,0036
	$\bar{x}=4,92$	$\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 = 0,134$

Розраховуємо середньоквадратичну похибку вимірювання часу:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,134}{6 - 1}} = 0,073 \text{ с}$$

Визначаємо допустиме значення раптової похибки:

$$\Delta_p = \frac{\delta}{3} = \frac{0,01}{3} = 0,003 \text{ с}$$

Довірчий інтервал в долях середньоквадратичної похибки становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{s} = \frac{0,003}{0,073} = 0,0041$$

Визначаємо сумарну похибку прямого вимірювання часу:

$$\Delta_{\Sigma} = \delta + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,01 + 2,8 \frac{0,073}{\sqrt{6}} = 0,093 \text{ с}$$

де  $t_{\alpha}$  – коефіцієнт Стюдента, що за ймовірності 0,95 та кількості вимірів  $n=6$  становить 2,8 [33].

Тоді дійсне значення часу визначається як:

$$\tau = \bar{\tau} \pm \Delta_{\Sigma} = \bar{\tau} \pm 0,093 \text{ с}$$

де  $\bar{\tau}$  – виміряне секундоміром значення часу, с.

## Додаток Є

### Алгоритм розрахунку та блок-схему пристрою для сушіння картону наповненого цеолітом

На основі розробленої математичної моделі складено алгоритм розрахунку пристрою для сушіння картону, наповненого цеолітом з застосуванням інфрачервоного випромінювання (рисунк Є.1)

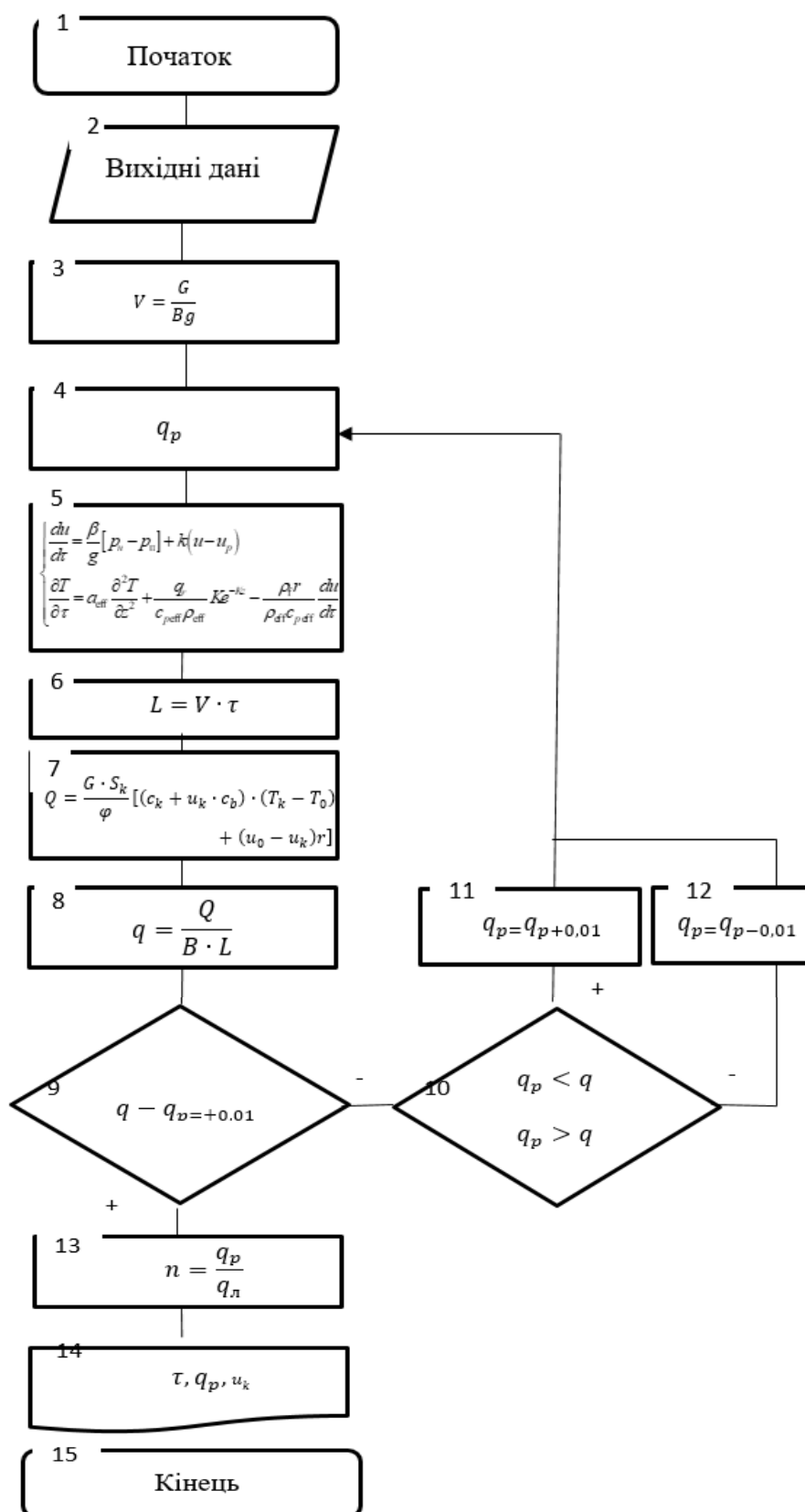


Рисунок Є.1 - Блок-схема розрахунку пристрою для сушіння картону, наповненого цеолітом

1 – початок алгоритму; 2 – ввід вихідних даних; 3 – визначення швидкості картонного полотна; 4 – визначення густини променевого теплового потоку; 5 – розрахунок часу сушіння з дотриманням початкових ( $T = T(z) = const, 0 \leq z \leq \delta_f$  та  $u = u(z) = const, 0 \leq z \leq \delta_f$ ) і граничних умов (- на поверхні ІЧ випромінювача діють граничні умови першого роду :  $T_{IR} = T(W) = const$ ; - на лицьовій стороні картону та на нижній задано граничні умови III роду:  $-\lambda_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_1 (T - T_{s_1})$  та  $-\lambda_{\text{eff}} \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_2 (T - T_{s_2})$ ); 6 – визначення довжини пристрою для сушіння; 7 – визначення теплового навантаження сушильної частини; 8 – визначення необхідної густини теплового потоку; 9 – порівняння поточних значень з умовою циклу; 10 – порівняння поточних значень після виходу з першого циклу; 11 та 12 – умови циклу; 13 – розрахунок кількості випромінювачів на  $1 \text{ м}^2$  картонного полотна на сушильній частині; 14 – вивід даних; 15 – кінець розрахунку.

Згідно алгоритму можна визначити час сушіння картону, наповненого цеолітом, швидкість картонного полотна, довжину пристрою для сушіння, теплове навантаження сушильної частини, густину теплового потоку та кількість ІЧ випромінювачів заданої потужності.

Після початку роботи програми за алгоритмом (блок 1) в блоці 2 згідно рисунку Є.1 задаються вихідні дані:  $G$ - продуктивність по висушеному картону, (кг/с);  $S_0$ - початкова сухість картону, % (масових);  $S_K$ - кінцева сухість картону, % (масових);  $g$ - маса квадратного метру картону, кг/м<sup>2</sup>;  $c_{\text{ц}}$  – масова концентрація цеоліта,%;  $c_{\text{цел}}$  – масова концентрація целюлози,%;  $c_K$  – масова концентрація клею, %;  $c_{\text{пар}}$  – масова концентрація поверхнево активних речовин, %;  $B$ -ширина картонного полотна, м;  $T_0$ - початкова температура картонного полотна, К;  $T_K$ - кінцева

температура картонного полотна, К;  $q_L$  –теплова потужність випромінювача, кВт.

В блоці 3 визначається швидкість картонного полотна.

В блоці 4 визначається густина теплового потоку за законом Стефана-Больцмана.

В блоці 5 - визначається час сушіння картону, наповненого цеолітом на основі розробленої математичної моделі процесу сушіння.

В блоці 6 – визначається довжина пристрою для сушіння.

В блоці 7 – розраховується теплове навантаження сушильної частини.

В блоці 8 – визначається необхідна густина теплового потоку.

В блоці 9-12 відбувається цикл розрахунку визначення густини теплового потоку.

В блоці 13 – розраховується кількість випромінювачів на 1 м<sup>2</sup> картонного полотна на сушильній частині.

В блоці 14 – вивід даних : часу сушіння, вологовмісту та густини теплового потоку.

Алгоритм розрахунку закінчується в блоці 15.

## **Додаток Ж**

### **Публікації, в яких відображені основні результати досліджень дисертаційної роботи**

1. ПРОЦЕС СУШІННЯ КАРТОНУ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ Телестакова В.В., Марчевський В.М. Збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (06-07 грудня 2016 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 88 с

2. ПРОЦЕС СУШІННЯ КАРТОНУ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ Телестакова В.В., Марчевський В.М. Збірник тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання» (26-27 квітня 2017 р. м. Київ) / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 110 с.

3. ПРОЦЕС СУШІННЯ КАРТОНУ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ Телестакова В.В., Марчевський В.М. Збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених ”Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання”, м. Київ / Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 107 с (29-30 листопада 2017 р.)

4. ПРОЦЕС СУШІННЯ КАРТОНУ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ Телестакова В.В., Марчевський В.М. Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання»/Укладач Я.М. Корнієнко. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018.

5. КАРТОН ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРОБОК. Телестакова В.В., Марчевський В.М. Патент України на корисну модель № 124545 від 10.04.2018р.

6. КАРТОН З НОВИМ МІНЕРАЛЬНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ/ Марчевський В.М., Телестакова В.В.// Науковий журнал «Молодий вчений» № 2 (54) лютий 2018.

7. КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СУШННЯ КАРТОНУ, НАПОВНЕНОГО ЦЕОЛІТОМ. Марчевський В.М., Новохат О.А., Телестакова В.В. Мультидисциплінарний Міжнародний научний журнал "Інтернаука" №8 квітень 2018.